

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Importância dos comportamentos dos habitantes no efeito  
*prebound* do consumo energético nas habitações**

Madalena Filipa Batalha Ferreira

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por:  
Professora Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão

2017



## Agradecimentos

À orientadora da dissertação, Professora Doutora Marta Oliveira Panão, pela oportunidade que me deu para desenvolver este trabalho, por toda a sua ajuda ao longo deste processo, pela sua dedicação, paciência, conselhos e disponibilidade para esclarecimento de dúvidas.

À Doutora Susana Fonseca, pela sua disponibilidade, partilha de conhecimentos e sugestões que permitiram uma melhor construção do inquérito analisado na dissertação.

Ao projeto SusCity, que para além de terem facultado dados utilizados na dissertação, possibilitaram a minha ida à 4ª Conferência Europeia de Comportamentos e Eficiência Energética.

Aos meus pais e à minha irmã, um agradecimento especial por me proporcionarem a possibilidade de tirar este curso, pela educação que me deram, por acreditarem sempre no meu trabalho e estarem sempre presentes quando mais preciso.

Aos meus amigos que estiveram presentes ao longo desta caminhada, por me proporcionarem momentos de diversão, convívio e partilha que me deram forças para terminar esta etapa.

## Resumo

Sendo o setor residencial o terceiro maior consumidor de energia final em Portugal, torna-se importante compreender o consumo de energia existente nas habitações portuguesas. As decisões tomadas pelos habitantes são um fator fundamental neste consumo, criando necessidade de resposta a algumas questões relevantes: como é que os habitantes interagem com a sua habitação e como se sentem acerca do ambiente interior da mesma.

A presente dissertação tem como objetivo determinar a importância que as decisões e comportamentos dos habitantes têm no consumo de energia das habitações e no surgimento do efeito *prebound*.

A elaboração de um inquérito acerca das habitações portuguesas permitiu delinear as tendências gerais dos comportamentos adotados pelos ocupantes, incluindo os sistemas de aquecimento de águas, aquecimento e arrefecimento de ar ambiente e mecanismos de sombreamento.

O caso de estudo deste trabalho centrou-se em calcular as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento de uma habitação, tendo em consideração os comportamentos dos seus ocupantes e que foram baseados nas tendências do inquérito elaborado. Para análise comparativa, foram utilizadas duas metodologias de cálculo: método quase-estacionário de base sazonal e método horário simplificado. Procurou-se também comparar o consumo energético de dois tipos distintos de habitações - unifamiliar e multifamiliar – e ainda determinar os fatores comportamentais inerentes ao caso em estudo.

Os resultados encontrados no inquérito mostram uma discrepância significativa entre o que é assumido na metodologia do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o que é indicado pelos habitantes. As maiores diferenças estão relacionadas com os sistemas de aquecimento existentes e maioritariamente utilizados, horas do dia com aquecimento e arrefecimento e área útil da habitação onde estes sistemas são aplicados. Estas diferenças permitem explicar a discrepância existente entre o consumo de energia medido e o calculado, conhecido como efeito *prebound*.

Com a aplicação de funções de distribuição de probabilidade determinaram-se os fatores médios comportamentais, cujo valor para o aquecimento foi de, aproximadamente, 0.13 e de 0.11 para o arrefecimento, evidenciando uma semelhança com o fator existente na regulamentação anterior (RCCTE).

**Palavras-chave:** Comportamentos, consumo de energia, método sazonal, método horário, efeito *prebound*



# Abstract

In Portugal, the residential sector represents the third largest final energy consumer, becoming important to understand the housing energy consumption in Portuguese dwellings. The inhabitants' actions and decisions are one of the most important factors in this consumption, resulting in some relevant questions: how the occupants interact with their houses and how they feel about the internal environmental.

The aim of this master thesis is to determine the role of inhabitants behavior in the prebound effect of housing energy consumption and how they interact with their houses and energy systems.

A survey have been developed in the Portuguese context in order to outline the general behaviour trends adopted by the occupants, including water heating systems, heating and cooling ambient air systems and shading devices.

The present study case aim to calculate the annual energy needs for heating and cooling of a building, taking into account the inhabitants behaviour mentioned on the survey. In order to make a comparative analysis two different calculation methodologies were been used: seasonal quasi-steady state method and simple hourly method. In addition, two distinct houses were been analyzed – single-family and multifamily. Behaviour factors were also studied with the purpose of quantify it and better understand the influence of occupants behaviour.

The survey results show an inconsistency between the assumptions made in EPC methodologies and those stated by the respondents. The main differences concern existent/mostly used energy heating systems, heated/cooled hours and heated/cooled net floor area. These differences explain the significant difference between measured and calculated energy consumption, known as prebound effect.

Applying statistical distribution functions to space heating and space cooling mean behaviour factors were calculated. For space heating and cooling a mean behavior factor of 0.13 and 0.11 were found. This values show a similarity with the behaviour factor applied in the legislation before 2013 (RCCTE), which value was 0.10.

**Keywords:** Behaviour, energy consumption, seasonal method, hourly method, prebound effect



# Índice

Resumo	iv
Abstract	vi
Índice de figuras	x
Índice de tabelas	xii
Acrónimos	xiv
Simbologia e notações	xv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2. Objetivos	6
1.3 Estrutura do Trabalho	6
1.4 Publicações	7
2. Efeito <i>prebound</i> e <i>rebound</i>	8
3. Fundamentos teóricos	10
3.1 Método quase-estacionário	10
3.1.1 Parâmetros climáticos	11
3.1.2 Cálculo do valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ )	11
3.1.3 Cálculo do valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ )	12
3.1.4 Cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ )	13
3.1.5 Cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ )	16
3.2 Método horário simplificado	19
4. Recolha de dados - Inquérito	23
4.1 Estrutura do inquérito	23
4.2. Análise dos resultados do inquérito	23
4.2.1 Aquecimento de ar ambiente	23
4.2.2 Arrefecimento de ar ambiente	27
4.2.3 Aquecimento de águas para uso doméstico	28
4.2.4 Comportamento dos ocupantes	29
4.2.5 Padrões de ocupação	31
4.2.6 Nível de conforto térmico	31
4.2.7 Caracterização da habitação e dos seus residentes	33



4.3 Comparação inquérito e legislação -----	33
5. Caso de estudo -----	36
5.1 Dimensão física – Projeto SusCity -----	36
5.2 Dimensão comportamental -----	37
5.3 Ganhos internos -----	38
6. Resultados e respetiva análise -----	40
6.1 Método sazonal e horário simplificado -----	40
6.2 Ganhos constantes vs ganhos variáveis -----	45
6.3 Comparação dos consumos -----	46
6.4 Comparação com o Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico -----	47
6.5 Mecanismos de sombreamento -----	48
7. Análise estatística dos comportamentos dos habitantes -----	51
8. Conclusões -----	54
Referências bibliográficas -----	57
Anexo A – Questões do inquérito -----	59
Anexo B – Resultados do caso de estudo para as necessidades nominais anuais de energia útil -----	62

## Índice de figuras

Figura 1.1 - Consumo energético mundial por setor de energia, em 1971 e 2014 (IEA, 2016b)-----	1
Figura 1.2 - Consumo energético por setor nos países da OCDE (IEA, 2016b)-----	2
Figura 1.3 - Evolução das fontes de energia utilizadas na produção de eletricidade nos países da OCDE (IEA, 2016b)-----	2
Figura 1.4 - Consumo energético em Portugal, por fonte de energia, em TWh (IEA, 2016a)-----	3
Figura 1.5 - Distribuição do consumo de energia no setor doméstico por tipo de utilização (DGEG & INE, 2010)-----	4
Figura 1.6 - Poupanças teóricas e reais devido ao efeito <i>prebound</i> e <i>rebound</i> , adaptado de Sunikka-Blank & Galvin (2012)-----	5
Figura 3.1 - Modelo 5R1C (Millet, 2007) -----	19
Figura 4.1 - Sistemas de aquecimento de ar ambiente existentes e mais utilizados nas habitações-----	24
Figura 4.2 - Percentagem de área da habitação normalmente aquecida e arrefecida -----	25
Figura 4.3 - Períodos do dia com aquecimento e arrefecimento na habitação -----	26
Figura 4.4 - Utilização de aquecimento de ar ambiente consoante as regiões NUTS II -----	26
Figura 4.5 - Sistemas de arrefecimento de ar ambiente existentes e mais utilizados na habitação-----	27
Figura 4.6 - Sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias existentes e mais utilizados na habitação -----	28
Figura 4.7 - Posições mais frequentes das cortinas nas principais divisões da habitação -----	29
Figura 4.8 - Posições dos mecanismos de sombreamento durante um dia de inverno -----	30
Figura 4.9 - Posições dos mecanismos de sombreamento durante um dia de verão-----	30
Figura 4.10 – Padrão de ocupação nos dias úteis da semana -----	31
Figura 4.11 - Nível de conforto sentido pelos ocupantes sem a utilização de sistemas de arrefecimento (excluindo as ventoinhas) -----	32
Figura 4.12 - Nível de conforto sentido pelos ocupantes sem a utilização de sistemas de arrefecimento (incluindo as ventoinhas) -----	32
Figura 4.13 - Nível de conforto sentido pelos ocupantes sem a utilização de sistemas de aquecimento ----	33
Figura 5.1 - Perfil diário de ganhos internos -----	39
Figura 6.1 - Aplicação do método horário ao caso de estudo -----	41
Figura 6.2 - Necessidades de energia para aquecimento para a habitação uni e multifamiliar -----	42
Figura 6.3 - Necessidades de energia para arrefecimento para a habitação uni e multifamiliar -----	43
Figura 6.4 - Semana típica de inverno para o comportamento médio multifamiliar -----	44
Figura 6.5 - Semana típica de verão para o comportamento médio multifamiliar -----	45

Figura 7.1 - Fator comportamental para o aquecimento (todas as fontes de energia) -----	52
Figura 7.2 – Fator comportamental para o arrefecimento -----	52

## Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Estudos feitos na Alemanha que evidenciam a existência do efeito <i>prebound</i> (Sunikka-Blank & Galvin, 2012)-----	9
Tabela 5.1 - Características dos arquétipos unifamiliar e multifamiliar-----	36
Tabela 5.2 - Coeficientes de transmissão térmica dos vários componentes do arquétipo ( $W/m^2.K$ ) -----	37
Tabela 5.3 – Caracterização dos três comportamentos -----	37
Tabela 5.4 - Perfil diário de ocupação-----	38
Tabela 5.5 - Ganhos internos por tipo de atividade do ocupante (Starner & Paradiso, 2004) -----	39
Tabela 5.6 - Ganhos internos de iluminação (Autodesk Education Community, n.d.)-----	39
Tabela 5.7 - Ganhos internos por equipamento (Autodesk Education Community, n.d.) -----	39
Tabela 6.1 - Energia utilizada para aquecimento e arrefecimento nas duas habitações, método sazonal ---	40
Tabela 6.2 - Energia utilizada para aquecimento e arrefecimento nas duas habitações, método horário ---	42
Tabela 6.3 - Energia utilizada para aquecimento e arrefecimento para os dois tipos de ganhos internos---	46
Tabela 6.4 - Diferenças entre consumos para o método sazonal e horário, assumindo uma habitação multifamiliar-----	46
Tabela 6.5 - Consumo de energia da habitação multifamiliar, por tipo de energia e de utilização, para o método horário -----	48
Tabela 6.6 – Necessidades nominais anuais de energia para os quatro casos -----	49
Tabela 7.1 - Funções de distribuição de probabilidade para os fatores comportamentais de aquecimento e arrefecimento -----	53
Tabela 7.2 - Percentis dos três fatores comportamentais -----	53
Tabela B.1 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação multifamiliar, método sazonal -----	62
Tabela B.2 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação unifamiliar, método sazonal-----	62
Tabela B.3 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação multifamiliar, método horário -----	62
Tabela B.4 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação unifamiliar, método horário -----	62



## Acrónimos

<b>5R1C</b>	Cinco resistências e uma capacitância
<b>ADENE</b>	Agência para a Energia
<b>APREN</b>	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
<b>AQS</b>	Águas Quentes Sanitárias
<b>CSTB</b>	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
<b>DGEG</b>	Direção Geral de Energia e Geologia
<b>EN</b>	European Normative (Norma Europeia)
<b>IEA</b>	International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
<b>IEQ</b>	Indoor Environmental Quality (Qualidade do Ambiente Interior)
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Organização Internacional para a Padronização)
<b>NUTS III</b>	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III
<b>NUTS II</b>	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível II
<b>OCDE</b>	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
<b>PNAEE</b>	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
<b>PNAER</b>	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
<b>RCCTE</b>	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
<b>RECS</b>	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
<b>REH</b>	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
<b>SCE</b>	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

## Simbologia e notações

$\alpha$	Coefficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca
$\delta$	Fator adimensional que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado
$\eta_i$	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento
$\eta_v$	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento
$\eta_{i,ref}$	Fator de utilização de referência de ganhos térmicos na estação de aquecimento
$\eta_{v,ref}$	Fator de utilização de referência de ganhos térmicos na estação de arrefecimento
$\rho_a$	Massa volúmica do ar (kg/m <sup>3</sup> )
$\theta_{ext,i}$	Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento (°C)
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média da estação de arrefecimento (°C)
$\theta_{v,ref}$	Temperatura interior de referência da estação de arrefecimento (°C)
$\theta_{sup}$	Temperatura do ar de ventilação (°C)
$\theta_e$	Temperatura do ar exterior (°C)
$\theta_m$	Temperatura de massa (°C)
$\theta_s$	Temperatura de estrela (°C)
$\theta_{air}$	Temperatura média do ar interior da zona (°C)
$\Psi_{ref}$	Coefficiente de transmissão térmica linear (W/m.°C)
$\phi_{ve}$	Caudal de ventilação (m <sup>3</sup> /h)
$\Phi_{HC,nd}$	Energia necessária para aquecimento e arrefecimento por hora (W/m <sup>2</sup> )
$\Phi_{int}$	Fluxo de calor originário de fontes de calor internas (W/m <sup>2</sup> )
$\Phi_{sol}$	Fluxo de calor devido a fontes de aproveitamento da radiação solar (W/m <sup>2</sup> )
$A_i$	Área do elemento i da envolvente (m)
$A_{op}$	Área da envolvente opaca (m)
$A_p$	Área interior útil de pavimento (m)
$A_w$	Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho (m <sup>2</sup> )
$A_{s,i\ nj}$	Área efetiva coletora de radiação solar na superfície n com a orientação j, na estação de aquecimento (m <sup>2</sup> )

$A_{s,v\ nj}$	Área efetiva coletora de radiação solar da superfície n com a orientação j, na estação de arrefecimento ( $m^2$ )
$A_m$	Área equivalente ( $m^2$ )
$A_t$	Área total das superfícies em contato com o volume de ar interior ( $m^2$ )
$A_i$	Área de contato com o volume interior dos elementos ( $m^2$ )
$B_j$	Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j (m)
$b_{tr}$	Coefficiente de redução de perdas de um espaço não útil ou de um edifício adjacente
$c_a$	Calor específico do ar ( $J/m^3.K$ )
$C_m$	Capacitância térmica mássica ( $J/K$ )
$F_g$	Fração envidraçada do vão envidraçado
$F_{s,i\ nj}$	Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j, na estação de aquecimento
$F_{s,v\ nj}$	Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j, na estação de arrefecimento
<b>GD</b>	Graus-Dia ( $^{\circ}C$ )
$g_i$	Fator solar de inverno
$g_v$	Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento
$g_{v,ref}$	Fator solar de referência para a estação de arrefecimento
$G_{sul}$	Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul ( $kWh/m^2.mês$ )
$H_{adj}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes ( $W/^{\circ}C$ )
$H_{ecs}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo ( $W/^{\circ}C$ )
$H_{enu}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis ( $W/^{\circ}C$ )
$H_{ext}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior ( $W/^{\circ}C$ )
$H_{tr,i}$	Coefficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento ( $W/^{\circ}C$ )
$H_{tr,v}$	Coefficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento ( $W/^{\circ}C$ )
$H_{ve,i}$	Coefficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento ( $W/^{\circ}C$ )



$H_{ve,v}$	Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento (W/°C)
$H_{tr,em}$	Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas de massa e ar exterior (W/K)
$H_{tr,ms}$	Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas de massa e de estrela (W/K)
$H_{tr,w}$	Coeficiente de transferência de calor por transmissão através de vãos envidraçados (W/K)
$H_{tr,is}$	Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas interior e de estrela (W/K)
$H_{ve}$	Coeficiente de transferência de calor por ventilação (W/K)
$H_{tr,op}$	Coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos da envolvente exterior (W/K)
$h_{is}$	Coeficiente de transferência de calor entre os nodos $\theta_{air}$ e $\theta_s$ (W/K)
$h_{ms}$	Coeficiente de transferência de calor entre os nodos $\theta_m$ e $\theta_s$ (W/K)
$I_{sol}$	Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal e em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais (kWh/m <sup>2</sup> )
$I_{sol, ref}$	Radiação solar média de referência correspondente à radiação incidente numa superfície a Oeste (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
$L_v$	Duração da estação de arrefecimento (h)
$M$	Duração da estação de aquecimento (meses)
$n$	Número de iterações
$N_i$	Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
$N_{ic}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
$N_v$	Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
$N_{vc}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
$P_d$	Pé direito médio (m)
$Q_{g,i}$	Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{g,v}$	Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh)
$Q_{g,v ref}$	Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento (kWh)
$q_{int}$	Ganhos internos médios (W/m <sup>2</sup> )
$Q_{int,i}$	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{int,v}$	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de arrefecimento (kWh)

$Q_{sol,i}$	Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada, na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{sol,v}$	Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada, na estação de arrefecimento (kWh)
$Q_{tr,i}$	Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios (kWh)
$Q_{tr,i \text{ ref}}$	Transferência de calor por transmissão de referência na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios (kWh)
$Q_{ve,i}$	Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{ve,i \text{ ref}}$	Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{gu,i}$	Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes (kWh)
$Q_{gu, i \text{ ref}}$	Ganhos térmicos úteis de referência na estação de aquecimento (kWh)
$R_{ph,i}$	Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento ( $h^{-1}$ )
$R_{ph,v}$	Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento ( $h^{-1}$ )
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
$U_i$	Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
$U_{ref}$	Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência
$U_w$	Coeficiente de transmissão térmica para elementos envidraçados da envolvente exterior ( $W/m^2 K$ )
$U_{op}$	Coeficiente de transmissão térmica para elementos opacos da envolvente exterior ( $W/m^2 K$ )
$X$	Parâmetro climático
$X_j$	Fator de orientação para as diferentes exposições
$z$	Altitude (m)
$z_{ref}$	Altitude de referência (m)

# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento

Desde os primórdios da humanidade que a energia conquistou um papel fundamental na realização das tarefas do quotidiano. A utilização de madeira para aquecimento e até mesmo o uso do vento para movimentar os barcos permitiram o conhecimento inicial deste grande motor humano, a energia. Naturalmente, com o passar dos anos, aumento da população e melhoria das tecnologias, o Homem foi desejando melhorar a sua comodidade, o que implicaria um uso excessivo dos recursos existentes e um aumento do consumo de energia em todos os sectores.

Entre 1971 e 2014 que o consumo energético mundial duplicou, contudo, apesar deste aumento, a distribuição do consumo pelos vários setores não se alterou significativamente, com o setor industrial a liderar com 37%, seguido dos transportes (28%) e em terceiro lugar o setor residencial, assumindo uma percentagem de 23%. (IEA, 2016b)

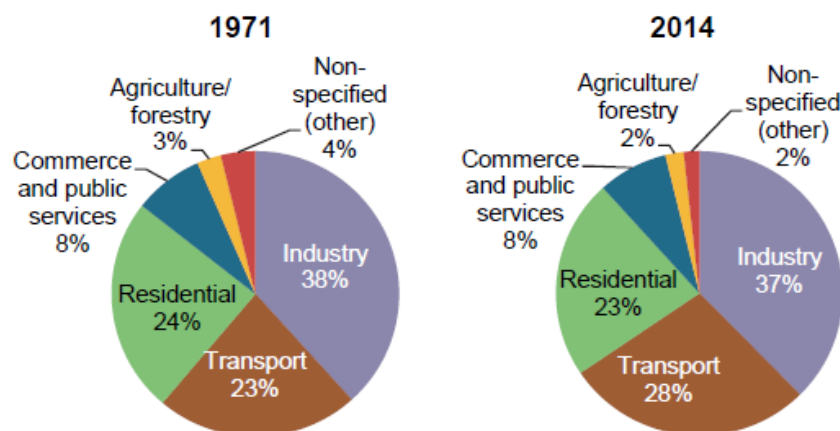


Figura 1.1 - Consumo energético mundial por setor de energia, em 1971 e 2014 (IEA, 2016b)

Apesar de este ser o cenário mundial a nível do consumo energético, é importante realçar as diferenças ainda existentes entre os países pertencentes à OCDE e os não pertencentes.

Estas diferenças entre países surgem por diversas razões, nomeadamente a nível da estrutura económica de cada país e das respetivas melhorias e normas implementadas para a eficiência energética e melhor uso da energia. Nos países pertencentes à OCDE o cenário difere um pouco do panorama mundial, sendo o setor dos transportes, em 2014, o que mais consome energia, seguido pelo setor industrial, residencial e serviços.

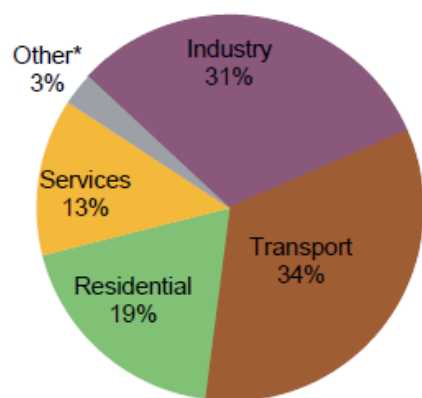


Figura 1.2 - Consumo energético por setor nos países da OCDE (IEA, 2016b)

Apesar da vertente ambiental e humanitária, este acréscimo no consumo tem sido um fator importante nas economias mundiais, nomeadamente em Portugal. A existência de diversas fontes energéticas em Portugal não permite descurar a velocidade com que estes recursos são gastos, levando a uma questão crucial nesta era da energia: a inexistência de recursos endógenos fósseis. Esta questão toma particular relevo pois aumenta a necessidade de procurar outro tipo de recursos em Portugal ou até mesmo a procura em outros países, provocando desta forma um aumento da dependência energética do exterior, cujo valor em 2010 era de 77%. (ADENE, 2013)

Foi esta procura de outros recursos e fontes que tomou principal relevo nas últimas décadas e tornou as fontes renováveis um foco essencial na temática internacional da energia.

A Figura 1.3 mostra a evolução, desde 1971 até 2015, das fontes de energia utilizadas para produção de eletricidade nos países pertencentes à OCDE, sendo possível observar uma crescente aposta no setor renovável, chegando mesmo a ultrapassar o nuclear e o petróleo.

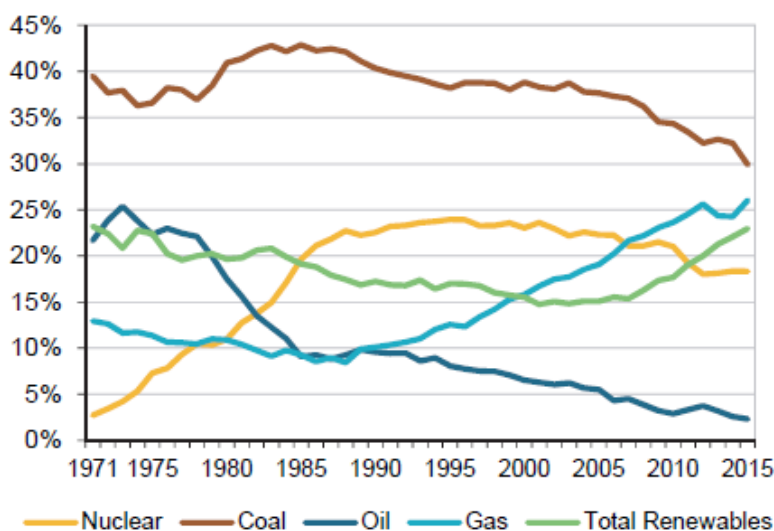


Figura 1.3 - Evolução das fontes de energia utilizadas na produção de eletricidade nos países da OCDE (IEA, 2016b)

Especificando para Portugal, na Figura 1.4 também é visível, entre 1973 e 2012, um aumento das fontes renováveis utilizadas para produção de eletricidade. Contudo, as fontes não endógenas continuam a assumir a liderança nesta produção.

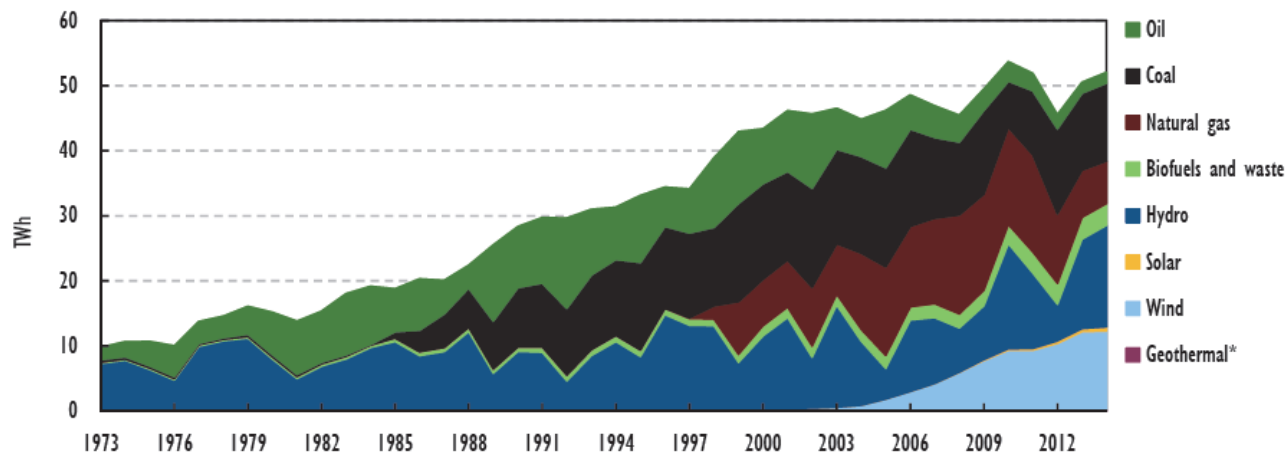


Figura 1.4 - Consumo energético em Portugal, por fonte de energia, em TWh (IEA, 2016a)

Segundo dados da Agência Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), é esperado que a dependência energética diminua de 90%, valor registado em 2005, para 68% no ano 2030. Para atingir os valores esperados para 2030, foi criado um conjunto de medidas cujo objetivo é melhorar diversas vertentes do uso de energia: eficiência energética, energias renováveis, redução da emissão de gases com efeito de estufa, entre outros.(APREN, n.d.)

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) incorporam estas medidas energéticas e são decisivos nesta mudança, apelando a uma melhor racionalização económica e maior sustentabilidade em Portugal. (APREN, n.d.)

Deste ponto de vista, é importante que estas medidas sejam aplicáveis em todos os sectores existentes. Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o sector doméstico é o terceiro maior consumidor de energia final em Portugal (17.7%), precedido pelo sector dos transportes e da indústria, que representam 37.5% e 30.5%, respetivamente. O sector de Serviços e de Agricultura e Pesca assumem ainda uma fração importante, com, respetivamente, 12% e 2.3% do total do consumo final de energia.

No que respeita ao consumo de energia no sector doméstico, é importante fazer a distinção do tipo de utilização dada: (39.1%) cozinha, (23.5%) águas quentes sanitárias, (21.5%) aquecimento do ar ambiente, (10.9%) equipamentos elétricos, (4.5%) iluminação e (0.5%) arrefecimento do ar ambiente. (DGEG & INE, 2010)

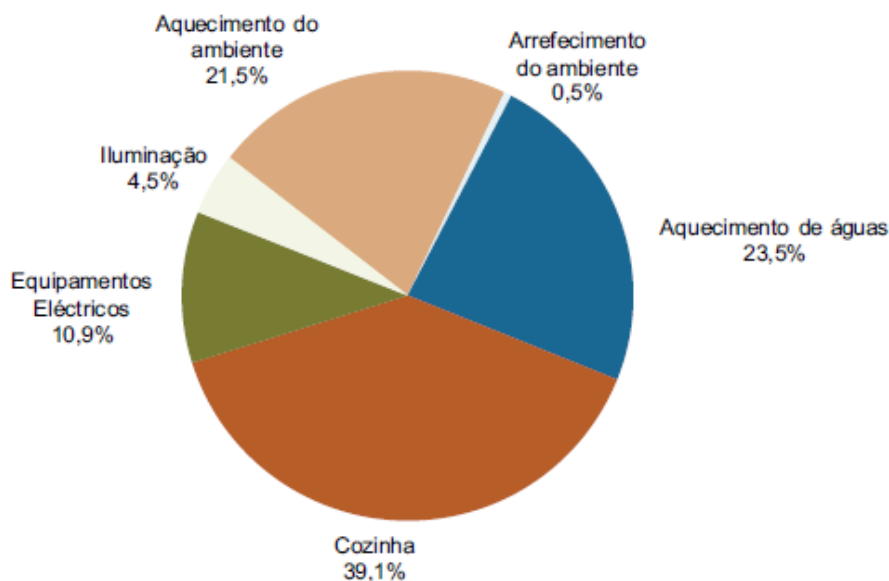


Figura 1.5 - Distribuição do consumo de energia no setor doméstico por tipo de utilização (DGEG & INE, 2010)

Sendo o sector residencial o terceiro maior consumidor de energia final, é determinante o conhecimento e sensibilização ambiental dos seus habitantes para a caracterização do consumo adotado e dos seus comportamentos e interação com a habitação.

Um dos parâmetros que melhor possibilita entender a motivação dos habitantes ao consumo, é o IEQ (qualidade do ambiente interior). Este parâmetro engloba as condições no interior do edifício e os seus efeitos nos ocupantes, havendo uma análise de fatores como a qualidade do ar ambiente, iluminação, conforto térmico e aspetos ergonómicos (Kim & De Dear, 2012). Assim, para alcançarem uma maior sensação de conforto e de bem-estar, os habitantes utilizam diversos equipamentos. Surge então a necessidade de conhecer os comportamentos dos intervenientes face a estímulos exteriores ou interiores à habitação, conduzindo a uma estimativa de consumo mais real.

Como tal, para além das características físicas dos edifícios e da determinação do desempenho energético com base na legislação existente, isto é, assumindo que todos se comportam da mesma forma, a introdução de variáveis comportamentais é determinante na obtenção de um desempenho energético mais realístico. Estas variantes comportamentais estão relacionadas com as ações dos habitantes aos diversos estímulos, tais como sombreamento, ventilação, sistemas de aquecimento, de arrefecimento e de águas quentes sanitárias (AQS).

Recentemente, o termo ‘efeito *prebound*’ surgiu na literatura (Sunikka-Blank & Galvin, 2012) aplicado especificamente aos edifícios antes da sua reabilitação. Este efeito demonstra que a energia consumida na habitação é inferior ao consumo expectável pela legislação. Esta energia subestimada é calculada pela diferença positiva entre o consumo de energia calculado e o consumo de energia medido, e é expressa como percentagem da primeira (Figura 1.6). Este mesmo efeito é também conhecido como ‘*heating gap*’ quando é aplicado especificamente ao aquecimento (Magalhães & Leal, 2014; Majcen et al, 2015). Alguns estudos recentes foram elaborados na Holanda, Bélgica, França e Reino Unido (Sunikka-Blank & Galvin, 2012) e facultam mais documentação sobre este efeito.

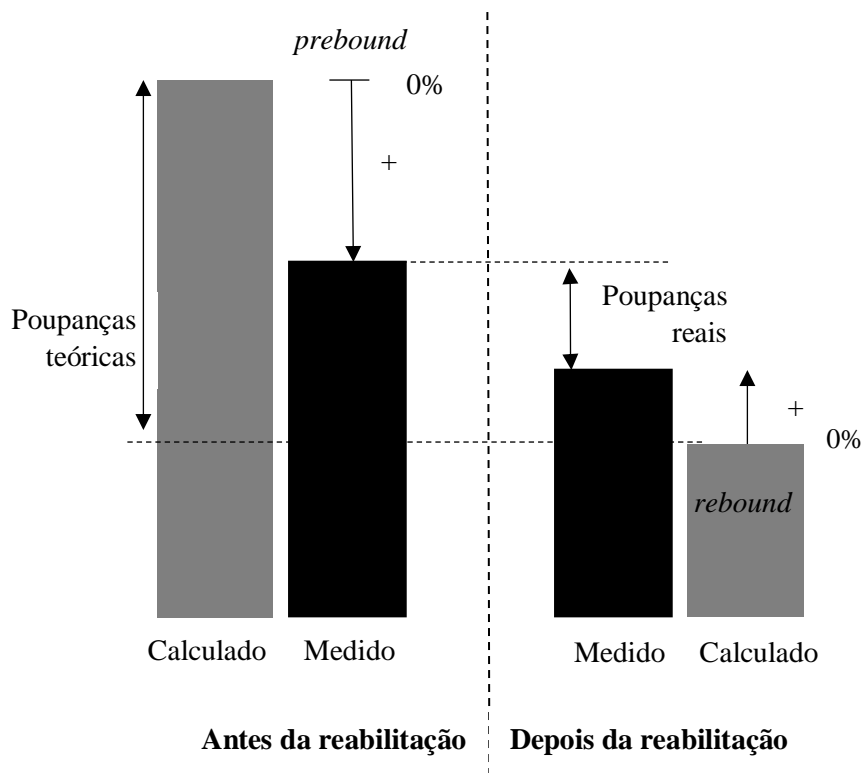


Figura 1.6 - Poupanças teóricas e reais devido ao efeito *prebound* e *rebound*, adaptado de Sunikka-Blank & Galvin (2012)

Nas habitações que ainda não efetuaram nenhuma reabilitação ou melhoria, os comportamentos adotados para poupança de energia são menos intensivos a nível energético e, consequentemente, é expectável que custem menos. O efeito *prebound* também surge devido à discrepância existente entre os comportamentos dos habitantes e as condições teóricas assumidas durante os cálculos (Sorrell et al, 2009; Giuliani et al, 2016). Por outro lado, após a reabilitação, é esperado um efeito *rebound* devido ao consumo medido ser superior ao consumo determinado pela legislação. Todavia, os habitantes após efetuarem as melhorias na habitação (a utilização de LED para iluminação por exemplo) tendem a descuidar os hábitos de poupança (apagar as luzes com maior frequência), resultando em poupanças reais significativamente inferiores às teóricas.

Especificamente em Portugal, o efeito *prebound* foi estudado por tipo de utilização de energia e, tendo em consideração a metodologia utilizada antes de 2013 (RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) estimou-se ser de 78% para o aquecimento de águas, 95% para o aquecimento de ar ambiente e 97% para o arrefecimento de ar ambiente (Magalhães & Leal, 2014). Estes dados evidenciam uma grande discrepância entre os valores encontrados através da metodologia de cálculo do desempenho energético em edifícios e os valores de consumo efetivamente existentes e mais realísticos. Desta forma, a importância dos habitantes no uso de energia e no seu consumo é relevante e reveladora, permitindo um conhecimento intrínseco dos edifícios, respetivos equipamentos e utilização.

## 1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo:

- Determinar a importância dos comportamentos dos habitantes no efeito *prebound* do consumo de energia das habitações;
- Avaliar a integrante comportamental dos habitantes no cálculo do consumo de energia, possibilitando uma melhor análise do efeito *prebound* e as possíveis explicações para a sua existência.

Para tal definiram-se como objetivos específicos:

- Elaborar um inquérito que permita aferir as tendências gerais dos comportamentos adotados nas habitações portuguesas, relativas aos usos de energia regulamentados pela Certificação Energética de Edifícios (aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias);
- Tipificar comportamentos com base na análise dos dados recolhidos através do inquérito e estudar a influência dos mesmos numa habitação tipo, definida no âmbito do projeto SusCity;
- Encontrar uma distribuição estatística de um parâmetro adimensional designado por *fator comportamental*, que se aplica às necessidades de aquecimento e arrefecimento calculadas em condições nominais, com o intuito de quantificar a influência das decisões dos ocupantes nas necessidades finais de energia resultantes da aplicação da legislação existente.

A análise tem por base o cálculo das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, através de um balanço de energia quase-estacionário, recorrendo à folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético dos edifícios, de acordo com o REH e em condições de utilização nominais.

Conjugadamente, utiliza-se o método horário 5R1C, desenvolvido pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), publicado na EN ISO 13790 (EN ISO 13790, 2008), que permite a definição mais precisa dos perfis de utilização dos sistemas.

## 1.3 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação é organizada por 8 capítulos, sendo que o presente capítulo corresponde à introdução. O conteúdo e organização dos restantes capítulos são indicados de seguida:

No Capítulo 2 é apresentada a terminologia de efeito *rebound* e *prebound* e a sua existência em diferentes países.

No Capítulo 3 é primeiramente feita uma contextualização acerca da regulamentação existente em Portugal para os edifícios, seguida das expressões de cálculo das necessidades nominais de energia e respetivos valores máximos para os dois métodos estudados na presente tese: método quase-estacionário e método horário simplificado.

O Capítulo 4 refere-se à recolha de dados obtida pelo inquérito ao consumo de energia nas habitações. Aquecimento e arrefecimento de ar ambiente, aquecimento de águas quentes para uso doméstico, padrões de ocupação e comportamentos dos habitantes são estudados neste capítulo.



O Capítulo 5 apresenta o caso de estudo da dissertação e ainda os diferentes comportamentos/famílias estudados neste trabalho.

O Capítulo 6 contém os resultados obtidos para o caso de estudo e respetiva discussão dos mesmos. São feitas análises comparativas entre os métodos, entre as tipologias de habitações e comparação com o Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico.

O Capítulo 7 engloba a análise estatística dos comportamentos dos habitantes e respetivos fatores comportamentais de aquecimento e arrefecimento.

Por último, o Capítulo 8 apresenta as principais conclusões desta dissertação e possíveis desenvolvimentos futuros nesta área.

## 1.4 Publicações

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto SusCity e foi submetido e parcialmente publicado em:

- Madalena Ferreira, Marta J.N. Oliveira Panão (2016). The role of inhabitants behaviour in the prebound effect of housing energy consumption. Behave 2016, 4th European Conference on Behaviour and Energy Efficiency, 8-9 September, University of Coimbra, Coimbra Portugal.
- Marta J.N. Oliveira Panão, Madalena Ferreira (2016). The role of inhabitants behaviour in the prebound effect of housing energy consumption. Energy Efficiency (versão extendida do artigo submetido e apresentado na conferência).

## 2. Efeito *prebound* e *rebound*

Uma ferramenta importante para avaliar o desempenho energético dos edifícios é o Sistema de Certificação Energética (SCE) que, ao invés de determinar o valor do consumo medido nas habitações, incide no cálculo do consumo de energia expectável.

Diversos autores, por exemplo Branco et al (2004) e Santin (2013), estudaram o efeito *rebound*, habitualmente encontrado em habitações com pequenas necessidades de energia, e demonstraram que o consumo de energia real/medido era superior ao consumo calculado pela legislação. Esta diferença, denominada de efeito *rebound*, surge devido à melhoria de eficiência energética nas habitações (equivalente à poupança de energia expectável para determinada utilização final) e que é compensada por um aumento direto na procura de energia para o mesmo uso final (Berkhout et al, 2000). Bourrelle (2014) sugeriu que se invertesse os efeitos negativos do *rebound* em habitações com reduzidas necessidades energéticas, através da transferência dos custos associados ao melhoramento de eficiência energética para investimentos relacionados com a oferta de energias renováveis.

Greening et al (2000) reviram diversos estudos e descobriram que o intervalo existente para o efeito *rebound* de aquecimento de ar ambiente é entre 10 a 30%, reduzindo a eficácia das medidas de eficiência energética de 70% para 90%. Em termos de arrefecimento, o intervalo é superior (0-50%), contudo, são poucos os estudos com este indício. As principais razões encontradas para o efeito *rebound* são o aumento da área aquecida/arrefecida e aumento dos requisitos de conforto térmico. Um estudo elaborado por Sorrell et al (2009) menciona um efeito *rebound* inferior a 30% para aquecimento e arrefecimento do ar.

O inverso também é possível, isto é, uma reduzida eficiência energética na habitação poderá ser compensada com comportamentos mais ponderados em termos de uso de energia. Um exemplo visível, estudado por Hens et al (2010), demonstra que no total de 20 habitações, o consumo de energia medido para aquecimento é significativamente inferior em 0.31-0.86 que o consumo calculado.

Recentemente, o termo ‘efeito *prebound*’ surgiu na literatura (Sunikka-Blank & Galvin, 2012) aplicado especificamente aos edifícios antes da sua reabilitação. Este efeito, contrariamente ao *rebound*, demonstra que a energia consumida na habitação é inferior ao consumo expectável pela legislação. Esta energia subestimada é calculada pela diferença positiva entre o consumo de energia calculado e o consumo de energia medido, e é expressa como percentagem da primeira.

Desta forma, é importante compreender o efeito *prebound* pois é necessária a inclusão dos comportamentos dos habitantes no cálculo de consumo de energia, pois estes que são geralmente diferentes dos comportamentos assumidos nas metodologias adotadas (Dall’O’ et al, 2012; Rosenow & Galvin, 2013; Daniel et al, 2015; Teli et al, 2016).

Se o consumo de energia real é inferior ao consumo expectável, as poupanças energéticas reais serão igualmente inferiores às poupanças teóricas (Figura 1.6). Isto demonstra que é necessária uma melhor compreensão do que impulsiona ou inibe as decisões dos ocupantes (Sunikka-Blank & Galvin, 2012). É também crucial identificar as diferenças entre os dois consumos, de forma a entender se os ocupantes não utilizam mais energia devido aos seus custos inerentes ou se se sentem confortáveis nas suas habitações.

Um exemplo estudado por Teli et al (2016) indica que, em habitações no Reino Unido, um efeito *prebound* de 40% é motivado pela pobreza energética.

A Tabela 2.1 enumera alguns estudos feitos na Alemanha que evidenciam a ocorrência de efeito *prebound* no uso de energia final para aquecimento de ar ambiente e de águas domésticas.

Tabela 2.1 - Estudos feitos na Alemanha que evidenciam a existência do efeito *prebound* (Sunikka-Blank & Galvin, 2012)

<b>Fonte</b>	<b>Número de habitações na amostra</b>	<b>Consumo médio estimado (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>Consumo médio medido (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>Fator de aquecimento</b>	<b>Efeito prebound (%)</b>
<b>Knissel e Loga (2006)</b>	1178	261	150	0.57	43
<b>Jagnow e Wolf (2008)</b>	44	209	153	0.73	27
<b>Kabner et al. (2010)</b>	1702	220	152	0.69	31
<b>Loga et al. (2011)</b>	113	184	135	0.73	27

Para além da Alemanha, outros países europeus chegaram a conclusões idênticas. Um estudo realizado na Holanda por Tigchelaar et al (2011) mostra que os resultados obtidos indicam um fator médio de aquecimento inferior a um, evidenciando que a procura de energia estimada para aquecimento é sobrestimado. Em França, Cayre et al (2011) estudaram 923 habitações francesas, chegando à conclusão que o modelo de cálculo utilizado chegava a valores bastante diferentes dos consumos aplicados.

Em Portugal, como referido no capítulo inicial, foram encontrados valores entre 70% e 90% para os vários tipos de utilização de energia (Magalhães & Leal, 2014). Deste modo, com a elevada importância dos habitantes no consumo das habitações, o RCCTE, ao contrário do REH, aplicava um fator de 0.10 (equivalente a um efeito *prebound* de 90%) ao cálculo da procura de energia no aquecimento e arrefecimento do ar.

Na metodologia de cálculo do REH são tidas em consideração as condições nominais, ou seja, assumindo que o aquecimento e arrefecimento de ar ambiente são utilizados na totalidade da área da habitação, durante 24 horas por dia e a uma temperatura de referência predefinida (18° durante o período de aquecimento e 25° para o período de arrefecimento) (Decreto-Lei nº118/2013 nº159, 2013).

Porém, para alguns edifícios onde se provou que a possibilidade de ocorrer sobreaquecimento é reduzida (Oliveira Panão et al., 2011), a procura de energia para arrefecimento é inexistente, ou seja, o efeito *prebound* seria de 100%.

### 3. Fundamentos teóricos

A 20 de Agosto de 2013, com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º118/2013, foi estabelecido um único diploma relativo ao desempenho energético dos edifícios e que na antiga legislação se apresentava em três diplomas distintos. Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), Regulamentação do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) são os três documentos incluídos na legislação atual.

O REH é o responsável pelos requisitos para os edifícios de habitação, incluindo os edifícios novos ou sujeitos a grandes intervenções. Os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético são também responsabilidade do REH. Para os edifícios de habitação, as duas principais vertentes estudadas pelo REH incidem no comportamento térmico (na estação de aquecimento e de arrefecimento) e na eficiência dos sistemas presentes no edifício. Desta forma, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis de gestão de energia ficam igualmente sujeitos a requisitos mínimos de eficiência energética. (Decreto-Lei n.º118/2013, 2013)

A Norma EN ISO 13790 descreve a metodologia utilizada para o cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento de um edifício ao longo do ano. Os procedimentos de cálculo dependem do tipo de método escolhido (sazonal, mensal ou horário) e que se distinguem da simulação dinâmica. Sendo assim, existem dois possíveis métodos para o cálculo das necessidades:

- Métodos quase-estacionários, que fazem recurso a um balanço de energia durante um período de tempo longo, como por exemplo um mês ou uma estação inteira, onde se incluem os métodos sazonais e mensais;
- Métodos dinâmicos, que fazem recurso a um balanço de energia em pequenos períodos de tempo, geralmente numa base de tempo horária, tendo em conta a energia armazenada nos elementos de armazenamento térmico, onde se incluem o método horário simplificado (5R1C) e a simulação dinâmica.

Os subcapítulos seguintes apresentam os dois procedimentos de cálculo utilizados na presente dissertação: método quase-estacionário (sazonal) e método horário simplificado.

#### 3.1 Método quase-estacionário

Esta metodologia de cálculo encontra-se descrita no Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, cujas expressões podem ser encontradas na Portaria n.º349-B/2013 de 29 de novembro, Despacho n.º15793-E/2013 de 3 de dezembro, Despacho n.º15793-F/2013 de 3 de dezembro, Despacho n.º15793-I/2013 de 3 de dezembro e Despacho n.º15793-K/2013 de 3 de dezembro.

### 3.1.1 Parâmetros climáticos

A Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos (NUTS III) é a base do zonamento climático de Portugal e cuja composição é constituída por municípios.

O Despacho N.º15793-F/2013 apresenta os parâmetros climáticos (X) associados a um determinado local e que se obtêm com base nos valores de referência ( $X_{REF}$ ) para cada NUTS III e são consequentemente ajustados com base na altitude do local (z), segundo a expressão seguinte:

$$X = X_{REF} + \alpha(z - z_{REF}) \quad [\text{meses ou } ^\circ\text{C}] \quad (3.1)$$

em que,

$\alpha$  é o declive de ajuste para a diferença de altitude;

$z_{REF}$  corresponde à altitude de referência do local.

Os valores de referência e declives para ajustes em altitude para ambas as estações encontram-se tabelados por NUTS III na Tabela 04 e 05 do Despacho n.º15793-F/2013.

Dependendo da estação de aquecimento e de arrefecimento, os parâmetros climáticos diferem e podem ser observados de seguida.

#### Estação de aquecimento (inverno)

GD – Número de graus-dia, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento;

M – Duração da estação de aquecimento;

$\theta_{ext,i}$  – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento, em °C;

$G_{Sul}$  – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, em kWh/m<sup>2</sup>.mês.

#### Estação de arrefecimento (verão)

$L_v$  – Duração da estação de arrefecimento, contabilizada em 2928 horas (4 meses);

$\theta_{ext,v}$  – Temperatura exterior média, em °C;

$I_{sol}$  – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, em kWh/m<sup>2</sup>.

### 3.1.2 Cálculo do valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ )

Para determinar os valores máximos de necessidades energéticas, são utilizadas equações de cálculo de acordo com a metodologia em Despacho e que considera valores e condições de referência. Desta forma, a seguinte expressão permite determinar o valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento:

$$N_i = \frac{Q_{tr,i\ ref} + Q_{ve,i\ ref} - Q_{gu,i\ ref}}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (3.2)$$

onde,

$Q_{tr,i\ ref}$  corresponde à transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento, em kWh, cujo valor é determinado tendo em conta as seguintes alíneas:

- i. Os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência ( $U_{ref}$ ) para elementos opacos e envidraçados previstos na tabela I.01, em função do tipo de elemento envolvente e da zona climática;
- ii. Os coeficientes de transmissão térmica linear ( $\psi_{ref}$ ) indicados na tabela I.02, em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício;
- iii. A área de vãos até 20% da área interior útil de pavimento do edifício, devendo a eventual área excedente ser somada à área de envolvente opaca exterior, sendo que para ambos os tipos de elementos devem ser usados os respetivos  $U_{ref}$  referidos na subalínea i.

$Q_{ve,i\ ref}$  corresponde à transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, em kWh, e considerando uma taxa de renovação de ar de referência igual à taxa de renovação para o edifício em estudo, até um máximo de 0.6 renovações por hora;

$Q_{gu,i\ ref}$  corresponde aos ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, em kWh, e cujo valor é determinado tendo em conta as seguintes alíneas:

- i. Os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar ( $Q_{sol,i} = G_{Sul} \times 0.182 \times 0.20 \times A_p \times M$ ) e internos;
- ii. O fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência unitário ( $\eta_{i\ ref} = 0.60$ ).

$A_p$  é a área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, em m<sup>2</sup>.

### 3.1.3 Cálculo do valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ )

Analogamente ao aquecimento, determina-se o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento com base na expressão seguinte:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{v\ ref}) \cdot Q_{g,v\ ref}}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (3.3)$$

onde,

$\eta_{v \text{ ref}}$  é o fator de utilização de ganhos de referência;

$Q_{g,v \text{ ref}}$  são os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, em kWh;

O fator de utilização de ganhos de referência é determinado pela expressão seguinte:

$$\eta_{v \text{ ref}} = \begin{cases} 0.52 + 0.22 \ln \Delta \theta & \Delta \theta > 1 \\ 0.45 & 0 < \Delta \theta \leq 1 \\ 0.30 & \Delta \theta \leq 0 \end{cases} \quad \text{e} \quad \Delta \theta = \theta_{\text{ref},v} - \theta_{\text{ext},v} \quad (3.4)$$

em que,

$\theta_{\text{ref},v}$  é a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, contabilizada em 25°C;

$\theta_{\text{ext},v}$  é a temperatura exterior média na estação de arrefecimento no local.

Por outro lado, os ganhos térmicos de referência podem ser determinados pela expressão seguinte:

$$\frac{Q_{g,v \text{ ref}}}{A_p} = \left[ q_{\text{int}} \cdot \frac{L_v}{1000} \right] + g_{v \text{ ref}} (A_w/A_p)_{\text{ref}} I_{\text{sol ref}} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (3.5)$$

em que,

$q_{\text{int}}$  são os ganhos internos médios, contabilizados em 4 W/m<sup>2</sup>;

$L_v$  é a duração da estação de arrefecimento, contabilizada em 2928 horas;

$g_{v \text{ ref}}$  é o fator solar de referência para a estação de arrefecimento, contabilizado em 0.43;

$(A_w/A_p)_{\text{ref}}$  é a razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%;

$I_{\text{sol ref}}$  é a radiação solar média de referência correspondente à radiação incidente numa superfície a Oeste, de acordo com o despacho, em kWh/(m<sup>2</sup>.ano).

### 3.1.4 Cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ )

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são calculadas de acordo com a norma europeia EN ISO 13790 e abrangem três considerações: o método sazonal de cálculo de necessidades de aquecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma; cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência; a ocorrência de fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo a estação de aquecimento. Desta forma, a expressão de cálculo das necessidades para aquecimento é dada por:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2.\text{ano}] \quad (3.6)$$

em que,

$Q_{tr,i}$  é a transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, em kWh;

$Q_{ve,i}$  é a transferência de calor por ventilação, em kWh;

$Q_{gu,i}$  são os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, em kWh;

#### Transferência de calor por transmissão através da envolvente

$Q_{tr,i}$  representa as perdas de calor por transmissão e é determinado por:

$$Q_{tr,i} = 0.024 \times GD \times H_{tr,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.7)$$

em que,

$H_{tr,i}$  é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, em  $W/^{\circ}C$ ;

Por conseguinte,  $H_{tr,i}$  é calculado pela expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.8)$$

onde,

$H_{ext}$  é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com o exterior, em  $W/^{\circ}C$ ;

$H_{enu}$  é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não úteis, em  $W/^{\circ}C$ ;

$H_{adj}$  é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com edifícios adjacentes, em  $W/^{\circ}C$ ;

$H_{ecs}$  é o coeficiente de transferência de calor através de elementos em contato com o solo, em  $W/^{\circ}C$ ;

De forma a finalizar o cálculo de  $H_{tr,i}$  é necessário determinar os coeficientes nomeados anteriormente:

$$H_{ext} = \sum_i (U_i \cdot A_i) + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.9)$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não úteis é determinado pela expressão:

$$H_{enu} = b_{tr} \times (\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j]) \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.10)$$

onde,

$U_i$  é o coeficiente de transmissão térmica do elemento  $i$  da envolvente, em  $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ;



$A_i$  é a área do elemento  $i$ , medida pelo interior do edifício, em  $m^2$ ;

$\Psi_j$  é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear  $j$ , em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$B_j$  é o desenvolvimento linear da ponte térmica  $j$ , medido pelo interior do edifício, em  $m$ ;

$B_{tr}$  é o coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente.

Como o  $H_{ecs}$  e o  $H_{adj}$  são desprezados no caso de estudo do presente trabalho, as expressões não são apresentadas.

### Transferência de calor por ventilação

$Q_{ve,i}$  representa as perdas de calor por ventilação e é calculado com base na seguinte equação:

$$Q_{ve,i} = 0.024 \times GD \times H_{ve,i} \quad [kWh] \quad (3.11)$$

Por conseguinte,  $H_{ve,i}$  é o coeficiente global de transferência de calor por ventilação, em  $W/^\circ C$ , e é determinado pela expressão:

$$H_{ve,i} = 0.34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad [W/^\circ C] \quad (3.12)$$

em que,

$R_{ph,i}$  é a taxa nominal de renovação do ar interior, em  $h^{-1}$ ;

$P_d$  é o pé direito da fração, em  $m$ .

### Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos úteis são determinados pela expressão seguinte e englobam uma parte dos ganhos térmicos brutos:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad [kWh] \quad (3.13)$$

onde,

$\eta_i$  é o fator de utilização dos ganhos térmicos;

$Q_{g,i}$  são os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, em  $kWh$ .

Por conseguinte, os ganhos térmicos brutos são originários de duas fontes diferentes:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad [kWh] \quad (3.14)$$

em que,

$Q_{int,i}$  são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, em kWh;

$Q_{sol,i}$  são os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, em kWh.

Estas duas parcelas podem então ser determinadas pelas seguintes equações:

$$Q_{int,i} = 0.72 q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad [\text{kWh}] \quad (3.15)$$

$$Q_{sol,i} = G_{Sul} \cdot \sum_j [X_j \cdot \sum_n F_{s,i nj} \cdot A_{s,i nj}] \cdot M \quad [\text{kWh}] \quad (3.16)$$

em que,

$q_{int}$  são os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a  $4\text{W/m}^2$ ;

$G_{Sul}$  é o valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, por unidade de superfície, em  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$ ;

$X_j$  é o fator de orientação para as diferentes exposições;

$F_{s,i nj}$  é o fator de obstrução do vão envidraçado  $n$  com orientação  $j$ ;

$A_{s,i nj}$  é a área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície  $n$  com a orientação  $j$ , em  $\text{m}^2$ .

O cálculo da área efetiva coletora é dado pela expressão:

$$A_{s,i nj} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [\text{m}^2] \quad (3.17)$$

em que,

$A_w$  é a área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, em  $\text{m}^2$ ;

$F_g$  é a fração envidraçada do vão envidraçado;

$g_i$  é o fator solar de inverno.

### 3.1.5 Cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ )

Analogamente às necessidades para aquecimento, as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento são igualmente determinadas pela norma europeia EN ISO 13790 e consideram os mesmos três pontos determinadores mencionados no subcapítulo 3.1.4. Desta forma, a expressão geral que permite calcular as necessidades de arrefecimento é dada por:

$$N_{vc} = \frac{(1-\eta_v) Q_{g,v}}{A_p} \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (3.18)$$

onde,

$\eta_v$  é o fator de utilização dos ganhos térmicos;

$Q_{g,v}$  são os ganhos térmicos brutos, em kWh;

#### Transferência de calor por transmissão e ventilação

Igualmente à estação de aquecimento, são determinadas as perdas de calor existentes, por transmissão e por renovação do ar, seguidas pelas seguintes expressões:

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.19)$$

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.20)$$

onde,

$H_{tr,v}$  é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, em  $W/^{\circ}C$ ;

$\theta_{v,ref}$  é a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia, igual a  $25^{\circ}C$ ;

$\theta_{v,ext}$  é a temperatura média do ar exterior, em  $^{\circ}C$ ;

$H_{ve,v}$  é o coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, em  $W/^{\circ}C$ ;

Por conseguinte,  $H_{ve,v}$  é determinado pela expressão:

$$H_{ve,v} = 0.34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d \quad [\text{kWh}] \quad (3.21)$$

em que,

$R_{ph,v}$  é a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento, em  $h^{-1}$ ;

#### Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos brutos são determinados pelo somatório de duas parcelas:

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [\text{kWh}] \quad (3.22)$$

em que,

$Q_{int,v}$  são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor;

$Q_{sol,v}$  são os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada.

Por conseguinte, estes ganhos térmicos podem ser calculados através de:

$$Q_{int,v} = \frac{q_{int} \cdot A_p \cdot L_v}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.23)$$

$$Q_{sol,v} = \sum_j [G_{sol,j} \sum_n F_{s,v,nj} A_{s,v,nj}] \quad [\text{kWh}] \quad (3.24)$$

em que,

$F_{s,v,nj}$  é o fator de obstrução da superfície do elemento  $n$ , com a orientação  $j$ ;

$A_{s,v,nj}$  é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento  $n$  com a orientação  $j$ , em  $\text{m}^2$ .

A área efetiva coletora é determinada por duas expressões distintas, sendo que a expressão (3.25) corresponde à área para os vãos envidraçados e a expressão (3.26) para as envolventes opacas:

$$A_{s,v,nj} = A_w \cdot F_g \cdot g_v \quad [\text{m}^2] \quad (3.25)$$

$$A_{s,v,nj} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad [\text{m}^2] \quad (3.26)$$

em que:

$g_v$  é o fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento;

$\alpha$  é o coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca;

$U$  é o coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca, em  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$A_{op}$  é a área do elemento da envolvente opaca exterior, em  $\text{m}^2$

### 3.2 Método horário simplificado

O modelo 5R1C, designado por método horário simplificado e descrito na EN ISO 13790, foi desenvolvido para a simulação horária de uma zona térmica sob condições climáticas exteriores. Este modelo RC de três nodos, é equivalente a um circuito elétrico e é constituído por 5 resistências e uma capacitância.

Este modelo consiste na representação de uma zona térmica por três nodos: temperatura média do ar interior da zona ( $\theta_{air}$ ), temperatura de estrela ( $\theta_s$ ), que é obtida pela combinação da temperatura do ar interior e da temperatura média radiante, e temperatura de massa ( $\theta_m$ ) que corresponde à temperatura média superficial dos elementos que contribuem para o armazenamento térmico. A Figura 3.1 representa o modelo 5R1C para uma zona térmica.

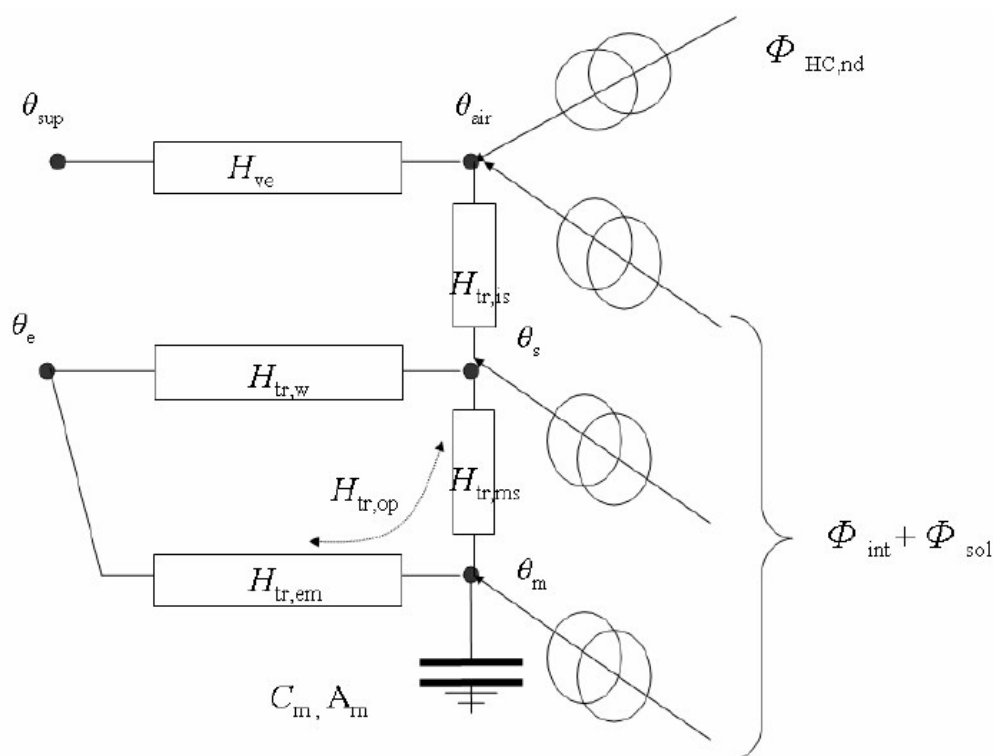


Figura 3.1 - Modelo 5R1C (Millet, 2007)

Legenda da Figura 3.1:

- $\theta_{sup}$  - Temperatura do ar de ventilação, em °C;
- $\theta_e$  - Temperatura do ar exterior, em °C;
- $C_m$  - Capacitância térmica mássica, em J/K;
- $A_m$  - Área de massa térmica equivalente, em m<sup>2</sup>;
- $H_{ve}$  - Coeficiente de transferência de calor por ventilação, em W/K;
- $H_{tr,is}$  - Coeficiente de transferência de calor entre a temperatura interior e de estrela, em W/K;

- $H_{tr,w}$  - Coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos vãos envidraçados, em W/K;  
 $H_{tr,ms}$  - Coeficiente de transferência de calor entre a temperatura de massa e de estufa, em W/K;  
 $H_{tr,em}$  - Coeficiente de transferência de calor entre a temperatura de massa e ar exterior, em W/K;  
 $H_{tr,op}$  - Coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos, em W/K;  
 $\Phi_{HC,nd}$  - Energia necessária para aquecimento e arrefecimento por hora, em W/m<sup>2</sup>;  
 $\Phi_{int}$  - Fluxo de calor originário de fontes de calor internas, em W/m<sup>2</sup>;  
 $\Phi_{sol}$  - Fluxo de calor devido a fontes de aproveitamento da radiação solar, em W/m<sup>2</sup>.

As variáveis descritas na EN ISO 13790 e determinantes para a o cálculo das necessidades encontram-se discriminadas de seguida.

A equação (3.27) permite determinar a capacitância térmica mássica de um local e é dada pelo somatório das capacitâncias térmicas interiores e exteriores dos elementos de construção.

$$C_m = \sum_i A_i \cdot k_i \quad (3.27)$$

onde,

$A_i$  representa a área de contato com o volume interior dos elementos, em m<sup>2</sup>;

$k_i$  é a capacidade térmica volumétrica dos elementos  $i$  que constituem a construção, sendo que a espessura a considerar para efeitos de cálculo da inércia não pode exceder um máximo de 0.10 m e que corresponde à espessura efetiva para um período de um dia, em J/m<sup>2</sup>K.

Para determinar a área equivalente  $A_m$ , é utilizada a equação seguinte:

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum_i A_i \cdot k_i} \quad [m^2] \quad (3.28)$$

#### Coeficiente de transferência de calor por ventilação

Quanto ao cálculo dos coeficientes de transferência de calor, a equação (3.29) permite determinar o coeficiente de transferência de calor por ventilação.

$$H_{ve} = \rho_a c_a \Phi_{ve} \quad [W/K] \quad (3.29)$$

em que,

$\rho_a$  é a massa volúmica do ar, em kg/m<sup>3</sup>;

$c_a$  é o calor específico do ar, em J/m<sup>3</sup>K;

$\phi_{ve}$  é o caudal de ventilação, em m<sup>3</sup>/h e que é calculado através da taxa de renovação do ar interior.

Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas interior e de estrela

A equação seguinte demonstra a forma de calcular o coeficiente  $H_{tr,is}$ .

$$H_{tr,is} = h_{is} \times A_t \quad [W/K] \quad (3.30)$$

em que:

$h_{is}$  é o coeficiente de transmissão de calor entre os nodos  $\theta_{air}$  e  $\theta_s$ , que, tendo em conta a norma EN ISO 13790 toma o valor de 3.45 W/m<sup>2</sup>K;

$A_t$  representa a área total das superfícies em contato com o volume de ar interior, expresso em m<sup>2</sup>.

Coeficiente de transferência de calor por transmissão através de vãos envidraçados

$$H_{tr,w} = \sum A_w \times U_w \quad [W/K] \quad (3.31)$$

onde,

$A_w$  representa a área total de vãos envidraçados, em m<sup>2</sup>;

$U_w$  é o coeficiente de transmissão térmica para elementos envidraçados da envolvente exterior, em W/m<sup>2</sup>K.

Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas de massa e de estrela

Através da equação (3.32) é possível determinar o coeficiente de transferência de calor  $H_{tr,ms}$  entre os nodos  $\theta_m$  e  $\theta_s$ .

$$H_{tr,ms} = h_{ms} \times A_m \quad [W/K] \quad (3.32)$$

em que:

$h_{ms}$  é o coeficiente de transmissão de calor entre os nodos  $\theta_m$  e  $\theta_s$ , que, tendo em conta a norma EN ISO 13790 toma o valor de 9.10 W/m<sup>2</sup>K.

Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas de massa e ar exterior

A equação seguinte permite determinar o coeficiente de calor,  $H_{tr,em}$ , entre os nodos  $\theta_m$  e  $\theta_e$ .

$$H_{tr,em} = \left( \frac{1}{H_{tr,op}} - \frac{1}{H_{tr,ms}} \right)^{-1} \quad [W/K] \quad (3.33)$$

onde,

$H_{tr,op}$  é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos da envolvente exterior, em W/K;

Desta forma, é então necessário determinar  $H_{tr,op}$  através da seguinte expressão:

$$H_{tr,op} = \sum(A_{op} \times U_{op}) \quad [W/K] \quad (3.34)$$

onde,

$A_{op}$  é a área opaca relativa à superfície da envolvente exterior, em  $m^2$ ;

$U_{op}$  é o coeficiente de transmissão térmica para elementos opacos da envolvente exterior, em  $W/m^2K$ .

### Ganhos térmicos

Neste método, os ganhos térmicos são divididos em duas parcelas: ganhos térmicos internos ( $\Phi_{int}$ ) e ganhos resultantes do aproveitamento da radiação solar ( $\Phi_{sol}$ ). Para o caso de estudo da presente dissertação os ganhos térmicos internos tomam o valor de  $4 W/m^2$ , valor indicado na legislação.



## 4. Recolha de dados - Inquérito

Sendo o objetivo da presente dissertação determinar a influência dos habitantes no consumo energético das habitações, foi desenvolvido um inquérito que permite averiguar o comportamento dos ocupantes em termos de utilização de equipamentos e hábitos quotidianos no edifício. Esta abordagem permite uma melhor compreensão do papel que os habitantes têm no consumo de energia final e do modo como estes interagem com os equipamentos existentes. Algumas questões essenciais serão respondidas por intermédio do inquérito: Com que frequência os habitantes aquecem/arrefecem as suas casas? As habitações são aquecidas/arrefecidas parcialmente ou totalmente? Quais são os sistemas utilizados para fornecer essa energia? Os habitantes utilizam os equipamentos que têm instalado nas habitações? Que tipos de sombreamentos são maioritariamente utilizados?

### 4.1 Estrutura do inquérito

O inquérito é constituído por 53 questões e a respetiva recolha de dados ocorreu entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016. Todas as questões podem ser consultadas no Anexo A. Encontram-se seis principais categorias no inquérito – 1) aquecimento de ar ambiente, 2) aquecimento de águas para uso doméstico, 3) arrefecimento de ar ambiente, 4) comportamento dos ocupantes, 5) consumos de energia na habitação e 6) caracterização da habitação e dos seus residentes. No total, houve aproximadamente 200 respostas, sendo que 53% dos inquiridos eram do sexo feminino, 46% do sexo masculino e 1% preferiu não responder. As respostas do inquérito foram analisadas de acordo com a Nomenclatura das Unidades Territoriais Para Fins Estatísticos (NUTS II) e encontram-se distribuídas entre Lisboa (78%), Centro (10%), Norte (8%), Alentejo (3%) e Algarve (1%). De notar ainda que para algumas regiões estudadas o número de respostas obtidas não é estatisticamente representativa.

### 4.2. Análise dos resultados do inquérito

#### 4.2.1 Aquecimento de ar ambiente

A primeira categoria do inquérito, aquecimento de ar ambiente, inclui questões relacionadas com os equipamentos utilizados, frequência de utilização e área da habitação normalmente aquecida no inverno.

Em termos de sistemas de aquecimento de ar ambiente concluiu-se que 5% dos habitantes não têm nenhum tipo de equipamento sendo que 7% não utilizam nenhum dos sistemas de aquecimento presentes na habitação. Os restantes inquiridos utilizam maioritariamente equipamentos elétricos, tais como equipamentos elétricos móveis ou equipamentos elétricos de acumulação (59%) e bombas de calor (12%). Apesar destes equipamentos elétricos serem os mais utilizados, a segunda fonte energética mais empregue é a madeira. As lareiras com e sem recuperador de calor e as caldeiras a biomassa estão representadas em

19% das habitações. A caldeira a gás e outros aquecedores a gás são utilizados em, aproximadamente, 18% das casas, sendo que outras fontes de energia tais como o gasóleo e coletores solares fotovoltaicos representam menos de 2% de uso dos habitantes.

De referir que as soluções maioritariamente utilizadas são significativamente diferentes dos sistemas presentes nas habitações, permitindo concluir que nem todos os equipamentos de aquecimento são efetivamente utilizados. Se se tiver em consideração somente os sistemas de aquecimento mais representativos, 45% das bombas de calor, 40% das lareiras (com e sem recuperador) e 43% dos aquecedores a gás não são habitualmente usados.

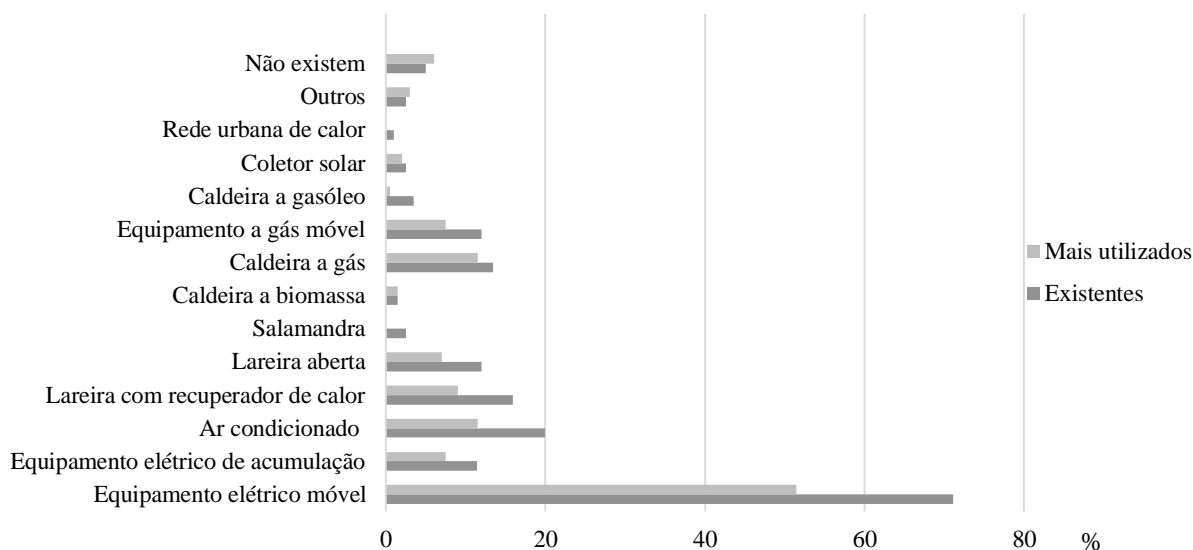


Figura 4.1 - Sistemas de aquecimento de ar ambiente existentes e mais utilizados nas habitações

Relativamente às áreas das habitações que normalmente são aquecidas no inverno, 34% dos habitantes aquecem menos do que 30% da área total da habitação, sendo que 67% aquece menos de 50% da área total. A sala de estar e alguns dos quartos são as divisões maioritariamente aquecidas, representando, respetivamente, 66% e 49%. Apenas com 9% encontra-se a cozinha, sendo a divisão menos aquecida pelos habitantes. Ao aplicar-se uma distribuição de Weibull à percentagem de área aquecida, obtém-se que em média, 43% da área total da habitação é aquecida.

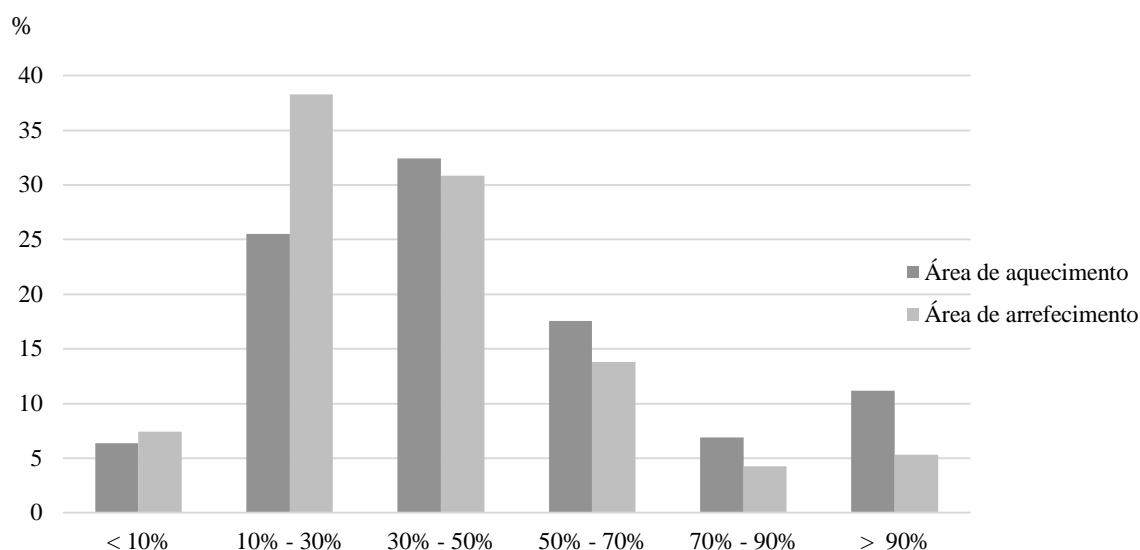


Figura 4.2 - Percentagem de área da habitação normalmente aquecida e arrefecida

Outro fator determinante do consumo energético das habitações tem que ver com o tempo de utilização de cada equipamento em duas perspetivas distintas: número de horas durante o dia e número de dias durante o ano que o aquecimento é ligado.

Em termos de horas do dia, os sistemas são maioritariamente utilizados no período noturno, sendo que o pico de utilização ocorre entre as 20h e as 22h (83%) e as 22h e as 24h (67%). Estes resultados eram expectáveis devido à principal presença dos habitantes na habitação neste período de quatro horas. Relativamente aos dias de inverno, os habitantes afirmaram que apenas utilizam equipamentos de aquecimento nos dias mais frios e somente quando a habitação está ocupada (52%) ou então se for estritamente necessária a sua utilização (22%). Do total de inquiridos, apenas 4% dos habitantes utiliza o aquecimento todos os dias do período de inverno.

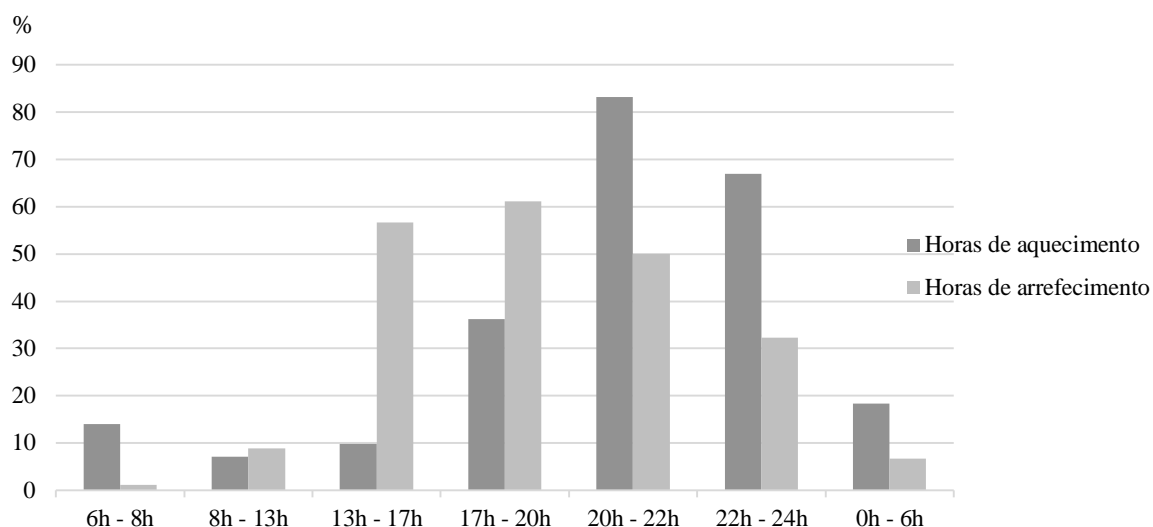


Figura 4.3 - Períodos do dia com aquecimento e arrefecimento na habitação

As respostas foram ainda analisadas tendo em consideração as regiões NUTS II e a sua influência no uso de sistemas de aquecimento de ar ambiente. Inicialmente seria de esperar que regiões do Norte (Norte e Centro), devido à sua temperatura média exterior mais fria, apresentassem uma maior percentagem de aquecimento do que regiões a Sul (Lisboa, Alentejo e Algarve). Como é visível na Figura 4.4, esta afirmação foi corroborada, com a única exceção de que a região do Norte apresenta índices de aquecimento inferiores ao Alentejo, contudo, maiores que a região algarvia onde o aquecimento é menos utilizado.

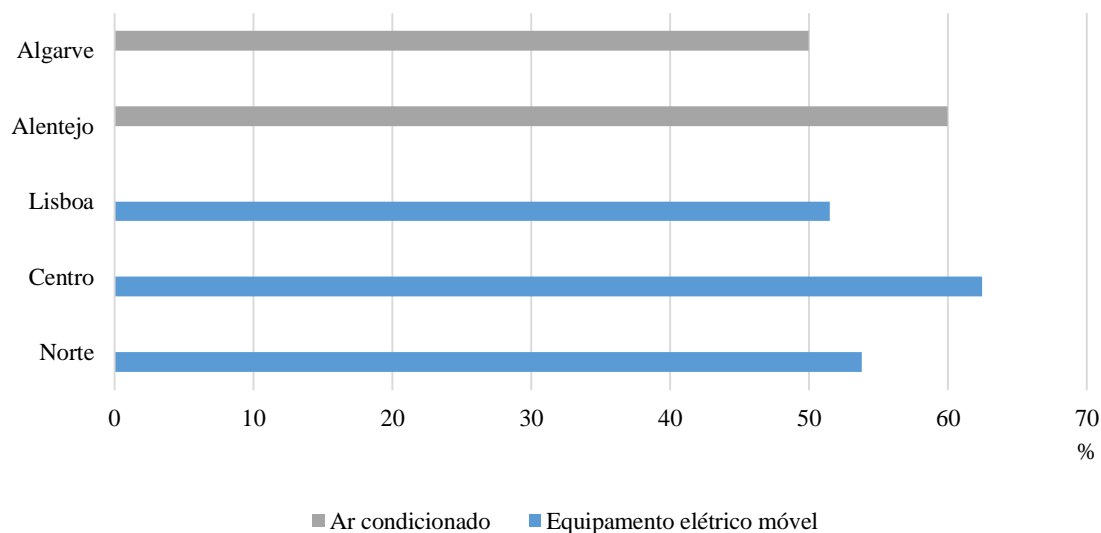


Figura 4.4 - Utilização de aquecimento de ar ambiente consoante as regiões NUTS II

### 4.2.2 Arrefecimento de ar ambiente

A terceira categoria do inquérito, analogamente ao aquecimento de ar ambiente, inclui questões relacionadas com os equipamentos utilizados para arrefecimento de ar ambiente, respetiva frequência de utilização e áreas da habitação onde os sistemas são implementados.

Após a análise dos resultados, 52% dos habitantes afirmam não utilizar qualquer tipo de sistema de arrefecimento, sendo que 32% afirmam utilizar ventoinhas para este efeito. Todavia, as ventoinhas não representam um sistema de arrefecimento pois estas apenas promovem uma sensação de conforto sem que haja um arrefecimento efetivo do espaço. Desta forma, a percentagem de inquiridos que utilizam ventoinhas foi acrescentada aos ocupantes que não utilizam arrefecimento, perfazendo assim uma percentagem de aproximadamente 85%.

O ar condicionado existe em 21% das habitações mas em termos de utilização este é utilizado apenas em 16% das mesmas. Se se tiver em consideração outros tipos de equipamentos, apenas um inquirido afirmou deter e utilizar rede urbana para arrefecimento.

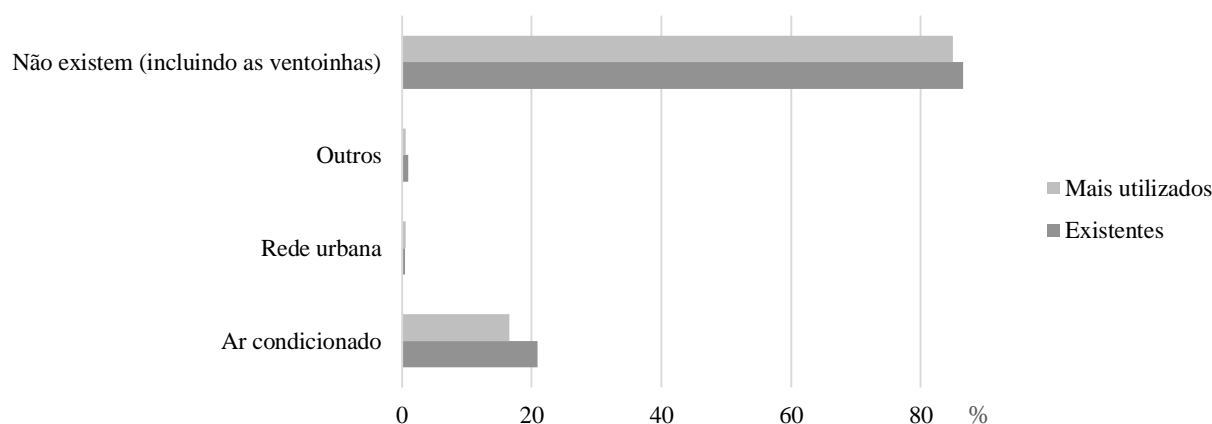


Figura 4.5 - Sistemas de arrefecimento de ar ambiente existentes e mais utilizados na habitação

Relativamente às divisões da habitação normalmente arrefecidas, 46% das habitações são arrefecidas em menos de 30% da área total da habitação, sendo que 76% arrefece menos de 50%. Analogamente à estação de aquecimento, aplicou-se uma distribuição de Weibull à percentagem de área arrefecida, obtendo-se uma média de 37%, valor um pouco inferior à média obtida para o aquecimento. De entre as divisões maioritariamente arrefecidas encontram-se a sala de estar e alguns dos quartos, representando 66% e 40%, respetivamente. Somente uma percentagem de 4% dos habitantes afirma que utiliza arrefecimento em todas as divisões da habitação.

Em termos de período de arrefecimento, este é mais visível nas horas diurnas, ocorrendo um pico de utilização entre as 13h e as 20h. Por outro lado, em termos de dias de verão, mais de metade dos ocupantes (51%) utiliza o arrefecimento nos dias mais quentes, mas apenas quando a habitação tem ocupantes. Ainda de realçar que somente 2% dão uso ao arrefecimento todos os dias do verão mas novamente apenas quando existem ocupantes na habitação.

Contrariamente ao verificado na estação de aquecimento, não existe nenhuma evidência que indique diferenças de utilização de equipamentos de arrefecimento nas diferentes regiões NUTS II.

### 4.2.3 Aquecimento de águas para uso doméstico

A segunda categoria do inquérito, referente ao aquecimento de águas para uso doméstico permitiu concluir que todos os inquiridos possuem algum equipamento para esta função, sendo que a fonte energética mais utilizada para este efeito é o gás natural. O esquentador a gás e a caldeira a gás são os equipamentos mais representativos, assumindo, respetivamente, 69% e 12%.

Seguido do gás natural, a eletricidade é a segunda fonte de energia mais empregada e 11% dos ocupantes utilizam-na através de termoacumuladores elétricos. Semelhantemente equiparada à eletricidade encontram-se os coletores solares, com 10% de utilização, demonstrando assim um investimento numa fonte de energia renovável. As diferenças entre os equipamentos existentes e os mais utilizados são negligenciadas.

Visto ser uma vertente essencial de consumo de água quente, foi questionada a utilização de máquina de lavar a loiça por parte dos habitantes. A larga maioria, aproximadamente 74%, afirma possuir máquina de lavar loiça, sendo que os restantes 26% não usufruem da mesma.

Determinou-se ainda a média de habitantes por casa, obtendo-se um valor de 2.7, sendo que a média de banhos por semana e por habitante encontra-se no intervalo de 6 a 9.

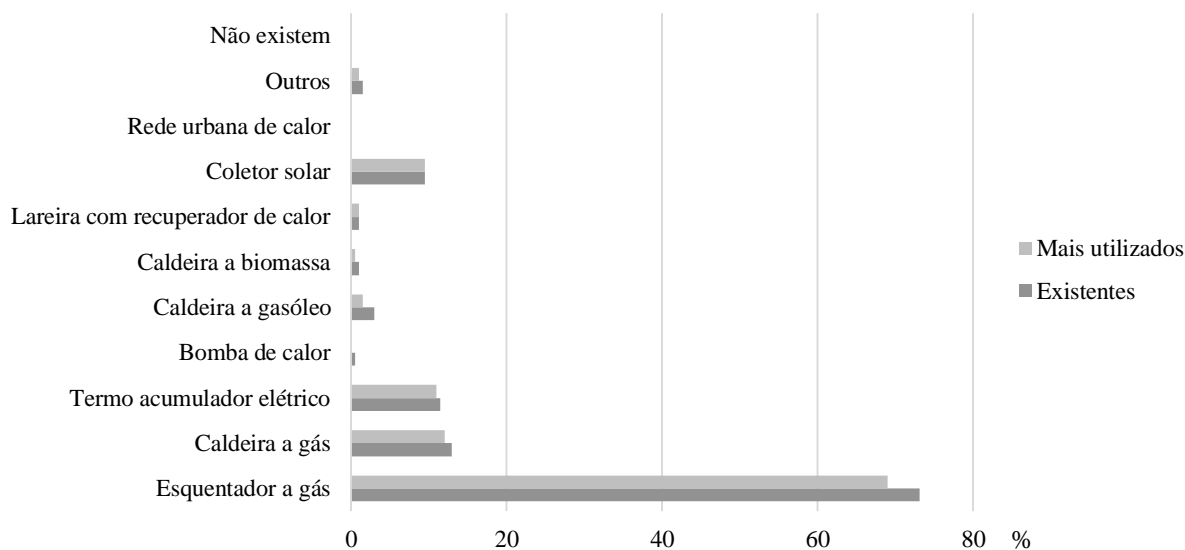


Figura 4.6 - Sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias existentes e mais utilizados na habitação

#### 4.2.4 Comportamento dos ocupantes

O comportamento dos habitantes é fundamental para compreender a interação existente entre estes e a própria habitação, as suas ações mediante as condições presentes e os seus hábitos diários. Os mecanismos de sombreamento assumem um papel fundamental na iluminação e nos ganhos solares da habitação, podendo influenciar o consumo de energia obtido e, conseqüentemente, a existência de efeito *prebound*. Desta forma, foram analisados os mecanismos de sombreamento usados, estores ou portadas exteriores e a existência de cortinas nas janelas das principais divisões.

Relativamente à abertura das janelas das divisões principais (salas e quartos) durante o verão, concluiu-se que esta é constante: mais do que 6 horas por dia (32%), entre 3 a 6 horas por dia (18%) e entre 1 a 3 horas (25%). Por outro lado, no período de inverno, as respostas diferem consideravelmente do período de verão: raramente abertas (16%), abertas apenas alguns dias por semana (28%) e abertas menos de 1 hora por dia (25%).

Relativamente aos estores ou portadas exteriores nas janelas dos quartos, 84% dos habitantes afirmou que possui estores/portadas em todos os quartos, enquanto somente 7% não as utiliza na totalidade dos quartos. Os restantes ocupantes não detêm este tipo de sombreamento. Nos dias de inverno, a maioria dos inquiridos (76%) permanece com os estores/portadas fechadas no período da noite. Inversamente, 9% nunca ou raramente fecham as portadas.

Outro tipo de sombreamento utilizado nas habitações são as cortinas nas janelas. No inquérito, as questões relacionadas com as cortinas referem-se apenas à sua utilização nas principais divisões (salas e quartos), onde 71% dos inquiridos possuem cortinas, opostamente a 16% que não têm este mecanismo. A Figura 4.7 ilustra qual as posições mais frequentes das cortinas.

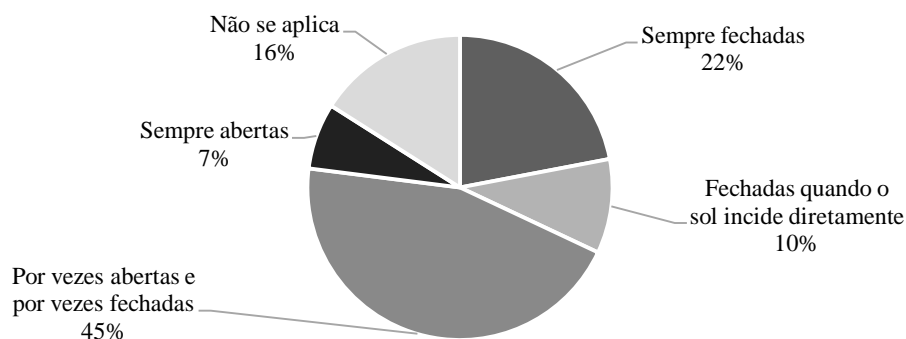


Figura 4.7 - Posições mais frequentes das cortinas nas principais divisões da habitação

Os mecanismos anteriormente mencionados são os utilizados mais frequentemente, contudo, em algumas das habitações existem mais do que um tipo de dispositivo de sombreamento. Alguns destes dispositivos englobam os estores ou portadas interiores, estores de rolos interiores e estores venezianos interiores ou exteriores. A maioria dos inquiridos (76%) afirmou não deter outro tipo de sombreamento, contudo, dos restantes correspondentes, 8% também possuem estores de rolos interiores, 8% estores ou portadas interiores, 4% estores venezianos interiores e 4% estores venezianos exteriores.

A Figura 4.8 e a Figura 4.9 mostram as posições dos mecanismos de sombreamento durante os dias de inverno e de verão, respetivamente.

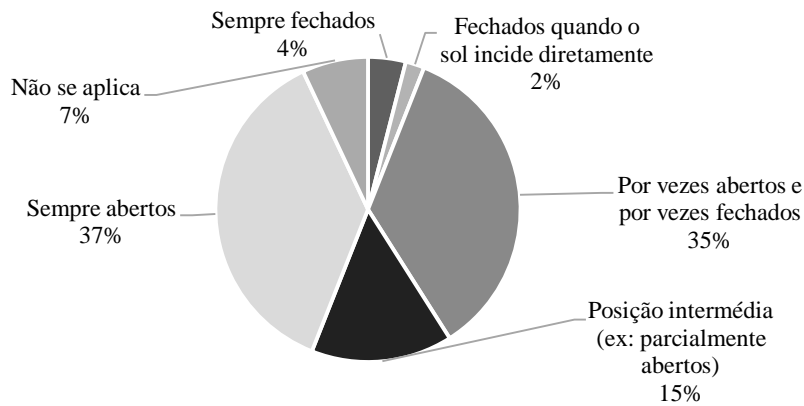


Figura 4.8 - Posições dos mecanismos de sombreamento durante um dia de inverno

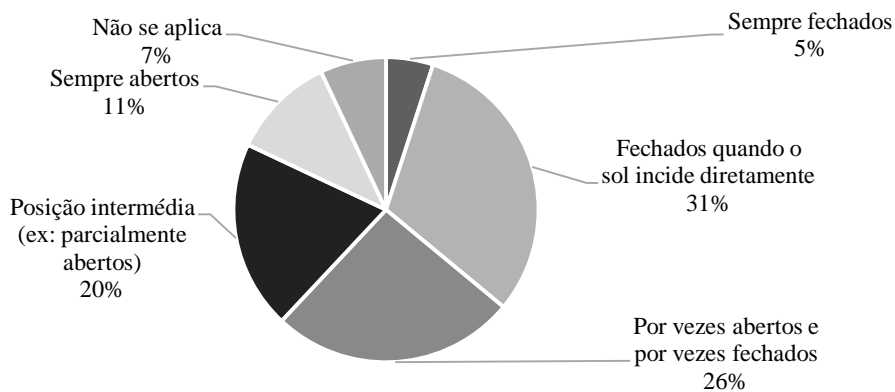


Figura 4.9 - Posições dos mecanismos de sombreamento durante um dia de verão



#### 4.2.5 Padrões de ocupação

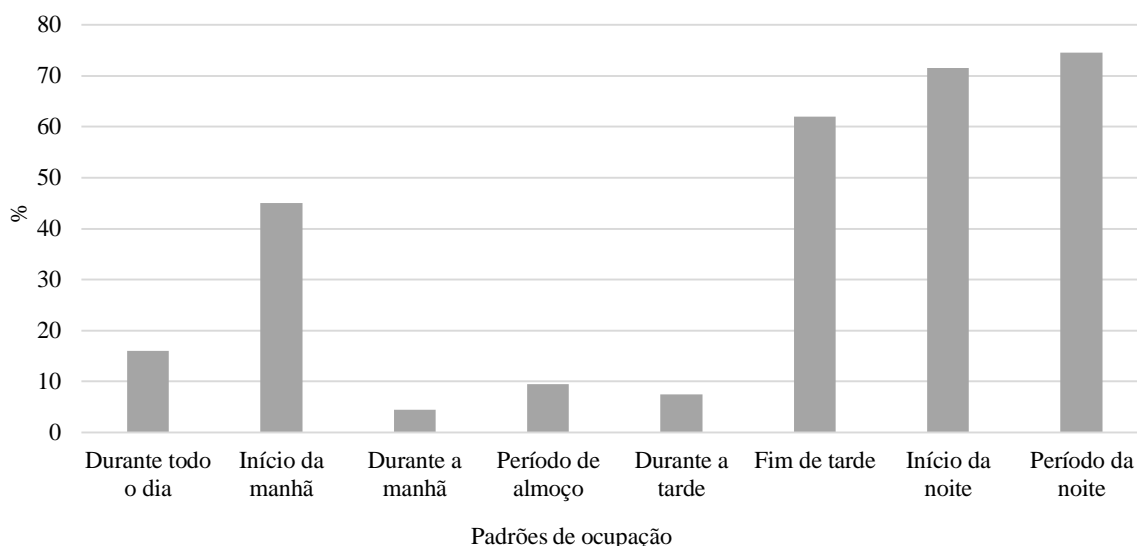


Figura 4.10 – Padrão de ocupação nos dias úteis da semana

Ao analisarem-se os padrões de ocupação das habitações fez-se a diferenciação entre a ocupação nos dias úteis e no fim-de-semana. A Figura 4.10 mostra o padrão de ocupação nos dias úteis, onde é visível que a maior percentagem de ocupação inicia ao final de tarde, prolongando-se pelo período noturno (onde se encontram percentagens superiores a 70%) e pelo início da manhã (45%). Somente 16% dos habitantes ocupam a habitação permanentemente.

Relativamente aos fim-de-semanas, 84% dos inquiridos afirmam que ocupam a habitação sempre ou frequentemente, enquanto somente 1% nunca dá uso à habitação aos fim-de-semanas. Estes padrões de utilização são extremamente importantes devido às respostas relacionadas com a utilização de sistemas de aquecimento e arrefecimento onde o comportamento mais frequente é a sua utilização apenas quando a casa se encontra ocupada.

#### 4.2.6 Nível de conforto térmico

Um dos principais motivos pelo qual os ocupantes utilizam sistemas de aquecimento e arrefecimento de ar ambiente está relacionado com a necessidade de conforto térmico. Isto é, se estes sentiram desconforto na habitação, é expectável que utilizem sistemas de aquecimento ou arrefecimento, caso estes equipamentos existam na habitação e caso possam suportar os custos de energia associados.

Deste modo, duas das questões do inquérito encontram-se relacionadas com o nível de conforto sentido pelos habitantes nos meses mais frios e mais quentes quando estes não utilizam nenhum equipamento de aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Consequentemente, foi analisado se a utilização destes

equipamentos se encontrava relacionada com a necessidade de adquirir um maior conforto térmico na habitação ou se poderia estar relacionada com outro fator.

Na estação de arrefecimento, tendo em consideração as respostas dos ocupantes que indicaram não utilizar nenhum sistema de arrefecimento, a maioria dos habitantes respondeu que se sentiam “confortáveis” ou “muito confortáveis” (56%) nas suas habitações ou então que consideravam a habitação “tolerável” (17%), indicando desta forma que não utilizam nenhum equipamento de arrefecimento pois não necessitam. Por outro lado, 5% dos inquiridos afirmam que a habitação é “desconfortável” ou “muito desconfortável”.

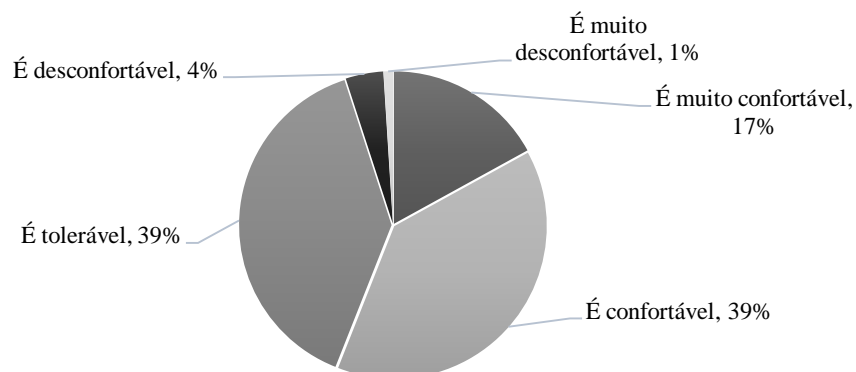


Figura 4.11 - Nível de conforto sentido pelos ocupantes sem a utilização de sistemas de arrefecimento (excluindo as ventoinhas)

Por outro lado, se se introduzir nas respostas os ocupantes que utilizam ventoinhas para arrefecer a casa, a percentagem de habitantes que sentem desconforto na habitação aumenta para 19%. Uma possível explicação para a não utilização dos equipamentos por parte dos ocupantes poderá relacionar-se com o custo inerente aos sistemas de aquecimento e de arrefecimento, e até mesmo com o custo da energia.

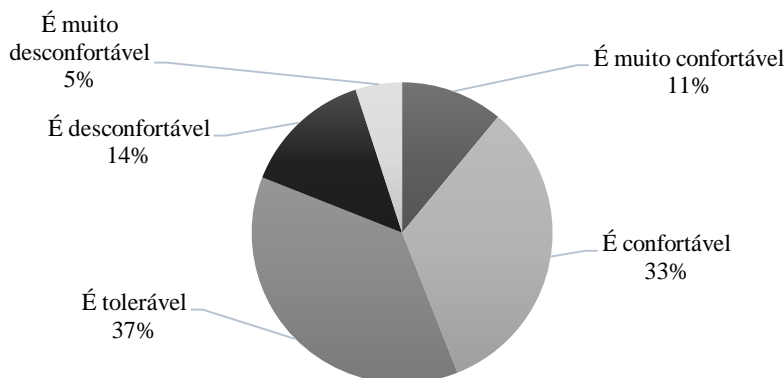


Figura 4.12 - Nível de conforto sentido pelos ocupantes sem a utilização de sistemas de arrefecimento (incluindo as ventoinhas)

Na estação de aquecimento 12% dos habitantes indicam que quando não utilizam nenhum sistema, a sua habitação é confortável, indicando desta forma que o facto de o nível de conforto da habitação ser o

necessário, não existe necessidade de utilizar aquecimento de ar ambiente. Contudo, é também visível na Figura 4.13 que a maioria dos habitantes, 52%, se sente desconfortável sem aquecimento, evidenciando a necessidade de utilização dos sistemas.

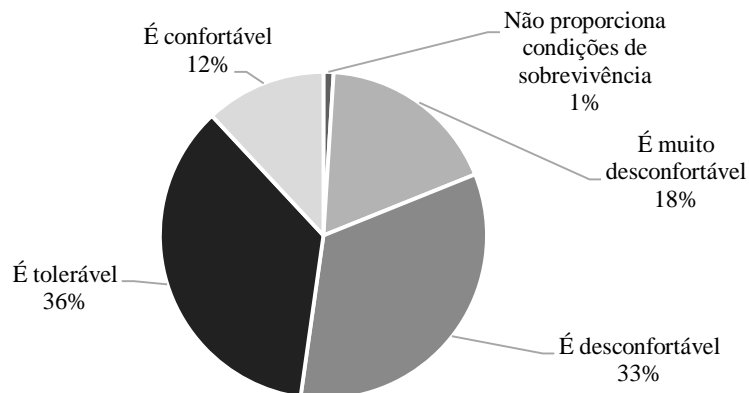


Figura 4.13 - Nível de conforto sentido pelos ocupantes sem a utilização de sistemas de aquecimento

#### 4.2.7 Caracterização da habitação e dos seus residentes

Na totalidade das respostas obtidas, a larga maioria (98%) indicou que a habitação referente era a sua moradia habitual, porém, 1% indicou ser a sua casa de férias ou de fins-de-semana, sendo que o restante 1% indicou não ser nenhuma das opções anteriores.

Em termos de tipo de habitação, os apartamentos posicionados entre dois apartamentos foi o mais representativo (50%), seguido das moradias isoladas (15%) e apartamento no último piso (12%).

Foram ainda questionadas algumas informações sobre os inquiridos do inquérito: idade, nível de escolaridade, condição perante o trabalho e composição do agregado familiar. Relativamente ao nível de escolaridade obtido, a maioria dos habitantes possui um curso superior (83%), 15% tem o ensino secundário e 2% possuem o terceiro ciclo. Por outro lado, 53% dos inqueridos são trabalhadores por conta de outrem, 33% encontram-se ainda a estudar e os restantes distribuem-se por variadas situações (trabalhar por conta própria, desempregado, reformado, entre outros).

### 4.3 Comparação inquérito e legislação

Como referido no capítulo 2, em Portugal estima-se haver um efeito *prebound* em algumas utilizações finais de energia (arrefecimento de ar e aquecimento de águas e de ar). Desta forma, considerando os comportamentos reais enunciados pelos inquiridos no inquérito elaborado, é possível conjecturar acerca dos

principais motivos que levam a uma discrepância entre o consumo calculado e o consumo medido, isto é, ao surgimento do efeito *prebound*.

Ao estudar os diferentes padrões comportamentais relativos ao aquecimento de ar ambiente, os pontos seguintes revelam serem possíveis explicações para a ocorrência dessa discrepância:

- A existência de equipamentos de aquecimento, tais como bombas de calor, lareiras e equipamentos a gás móvel na habitação, mas que não são os equipamentos maioritariamente utilizados pelos ocupantes;
- A área total da habitação é apenas aquecida parcialmente, com uma média de 43% da habitação a ser aquecida;
- O número de horas em que o aquecimento se encontra ligado é de aproximadamente 4 horas nas 24 horas diárias (17%);
- O número de dias em que o aquecimento é ligado é inferior ao número de dias da estação de aquecimento (utilizado apenas nos dias mais frios).

Nos pontos referidos anteriormente pode verificar-se que a utilização de aquecimento pelos ocupantes não é igual à assumida na metodologia de cálculo do consumo de energia. No REH, ao assumir-se que a totalidade da área da habitação é aquecida durante 24 horas por dia e durante todos os dias da estação de inverno determina-se um valor extremo, onde se presume que os habitantes têm todos estes comportamentos médios. Contudo, como provado pelo inquérito, todos os habitantes são diferentes e os seus comportamentos diferem.

Em termos de arrefecimento de ar ambiente é também possível tirar algumas conclusões:

- Quando existem equipamentos de ar condicionado na habitação estes são utilizados;
- O número de horas em que o arrefecimento se encontra ligado é de aproximadamente 7 horas nas 24 horas diárias (29%);
- O número de dias em que o arrefecimento é ligado é inferior ao número de dias da estação de arrefecimento (utilizado apenas nos dias mais quentes).

Comparativamente ao aquecimento, a legislação assume o arrefecimento da totalidade de área da habitação, durante 24 horas por dia e durante a totalidade da estação de verão. Todavia, verificou-se que as respostas dadas pelos inquiridos indicam comportamentos distintos.

A respeito dos padrões comportamentais relacionados com os dispositivos de sombreamento e/ou oclusão noturna e respetiva utilização, analogamente ao aquecimento, verificaram-se algumas diferenças relativamente aos comportamentos que são assumidos nos cálculos da procura de energia pelo REH:

- 9% dos ocupantes afirmam que raramente ou nunca fecham os estores/portadas;
- As cortinas nas janelas das principais divisões, quando existem, estão fechadas em 22% das habitações, independentemente na estação em que se encontra;
- Durante os dias de inverno, os dispositivos de sombreamento (incluindo as cortinas das janelas) encontram-se parcialmente abertos em 50% das habitações;
- Durante os dias de verão, os dispositivos de sombreamento (incluindo as cortinas das janelas) encontram-se sempre abertas em 11% das habitações.

Por outro lado, o REH assume os seguintes comportamentos (Decreto-Lei nº118/2013, 2013):

- Quando existem estores/portadas nas habitações, estas encontram-se sempre fechadas no período noturno;
- No período de inverno as cortinas das janelas estão sempre abertas, sendo que no período de verão estas se encontram parcialmente abertas (dependendo da orientação da janela);
- Durante os dias de inverno, os dispositivos de sombreamento encontram-se sempre abertos;
- Durante os dias de verão, os dispositivos de sombreamento encontram-se parcialmente abertos (dependendo da orientação da janela).

Os diferentes comportamentos mencionados relativamente ao assumido pelo REH realçam a necessidade de inclusão do comportamento médio dos habitantes no cálculo do consumo de energia da habitação de modo a tornar o resultado mais verdadeiro e realístico.

## 5. Caso de estudo

O caso de estudo analisado tem como intuito estudar o desempenho energético de duas habitações: unifamiliar e multifamiliar. Procurou-se que os valores de necessidades de energia encontrados fossem o mais próximo da realidade e, para tal, abrangeu-se a dimensão física de um edifício real e a dimensão comportamental dos seus ocupantes.

### 5.1 Dimensão física – Projeto SusCity

O Projeto SusCity, desenvolvido na zona urbana de Lisboa, tem como principal objetivo o desenvolvimento e implementação de um simulador de sistemas urbanos multidimensionais e respetivo painel de instrumentos. Este sistema pretende promover a eficiência na gestão e na utilização de recursos nas áreas urbanas, nomeadamente na zona entre os Olivais e o Parque das Nações, onde o projeto será testado. O projeto SusCity ambiciona ainda por um avanço na ciência de modelação de sistemas urbanos e pela representação de dados suportados pela recolha e processamento de dados urbanos “big data” (Projeto Suscity, 2015).

Sendo que o projeto se baseia na análise de diversos arquétipos na zona mencionada anteriormente, foi facultado um resumo de dois dos arquétipos em estudo (um unifamiliar e um multifamiliar) e que foram utilizados para o caso de estudo.

Na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2 estão representadas as características dos dois arquétipos em estudo.

Tabela 5.1 - Características dos arquétipos unifamiliar e multifamiliar

Características	Unifamiliar	Multifamiliar
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	538.6	271.6
<b>Pé direito médio (m)</b>	2.70	2.70
<b>Área útil de pavimento (m<sup>2</sup>)</b>	174.6	90.3
<b>Área do pavimento interior (m<sup>2</sup>)</b>	82.0	16.8
<b>Área de cobertura exterior (m<sup>2</sup>)</b>	82.0	16.8
<b>Área das fachadas exteriores (m<sup>2</sup>)</b>	177.0	67.6
<b>Área de vãos envidraçados exteriores (m<sup>2</sup>)</b>	14.2	21.6
<b>Fator solar dos vãos envidraçados</b>	0.88	0.88
<b>Taxa de renovação de ar interior (h<sup>-1</sup>)</b>	1.00	1.02
<b>Ângulo fachada principal (°)</b>	90.2	103.3
<b>b<sub>tr</sub> espaço não útil</b>	0.8	0.8

Tabela 5.2 - Coeficientes de transmissão térmica dos vários componentes do arquétipo (W/m<sup>2</sup>.K)

Coeficiente de transmissão térmica (U)	Unifamiliar	Multifamiliar
<b>Pavimento interior</b>	1.63	0.90
<b>Fachadas exteriores</b>	1.90	1.00
<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	5.20	5.20
<b>Cobertura exterior</b>	2.70	2.70

## 5.2 Dimensão comportamental

Para análise da dimensão comportamental do caso de estudo, foram estabelecidos três tipos distintos de comportamentos: máximo, médio e mínimo, sendo que a cada comportamento correspondem diferentes atitudes perante as estações de aquecimento e arrefecimento. A percentagem de área da habitação que é normalmente aquecida/arrefecida e as horas do dia em que os respetivos sistemas de aquecimento/arrefecimento estão ligados são os comportamentos analisados.

A tabela seguinte mostra, para cada comportamento, as percentagens de área aquecida e arrefecida e as horas de utilização dos sistemas.

Tabela 5.3 – Caracterização dos três comportamentos

	Aquecimento		Arrefecimento	
	Área da habitação (%)	Horas de utilização	Área da habitação (%)	Horas de utilização
<b>Máximo</b>	90	24h/dia	90	8-6 (22h)
<b>Médio</b>	43	17-24 (7h)	37	13-22 (9h)
<b>Mínimo</b>	10	20-22 (2h)	10	13-20 (7h)

Os valores indicados na Tabela 5.3 foram obtidos através da análise dos resultados do inquérito ao consumo de energia nas habitações, cujos resultados são apresentados no capítulo 4. Ao criar-se três comportamentos distintos procurou-se analisar três diferentes tipos de consumos que podem ser padrões de três habitações.

O comportamento máximo pretende estudar o extremo mais elevado de consumo de aquecimento e arrefecimento, representando as atitudes de uma família que aquece e arrefece uma grande percentagem de área da habitação e durante grande parte do dia. No inquérito elaborado, este tipo de comportamento é pouco representativo, assumindo uma pequena percentagem dentro dos inquiridos.

Por outro lado, o comportamento mínimo representa o outro extremo, onde o consumo de aquecimento e arrefecimento é exemplo de uma família que aquece e arrefece uma percentagem de área bastante reduzida e cujos sistemas de aquecimento e arrefecimento funcionam poucas horas durante o dia. Analogamente ao comportamento máximo, o mínimo também é aplicado por uma reduzida percentagem de inquiridos.

Por último, o comportamento médio representa os valores de área e de horas de utilização médios que foram anteriormente encontrados no inquérito. De entre os três comportamentos este é o mais representativo das famílias respondentes.

### 5.3 Ganhos internos

Os ganhos internos de um edifício são uma componente importante a ter em consideração no cálculo das necessidades de energia da habitação. Estes provêm de fontes de calor existentes no interior do edifício e que dissipam energia. Ganhos de calor resultantes do metabolismo dos ocupantes da habitação, mecanismos de iluminação e equipamentos existentes na habitação são alguns destes ganhos internos.

Segundo a Portaria n.º349-B/2013 de 29 de novembro, o valor de ganhos internos considera-se ser de 4 W/m<sup>2</sup>, contudo, de modo a determinar a influência que os ganhos internos de um edifício têm nas necessidades de energia foram estudados dois tipos de ganhos internos: constantes (assumindo o valor da regulamentação) e variáveis.

Para os ganhos variáveis foi necessário elaborar um perfil de ocupação diário para um edifício médio tendo em consideração os seus ocupantes, iluminação e equipamentos existentes. Para tal, este perfil foi elaborado tendo por base uma família comum, cujo horário matinal decorre entre as 7h e as 9h e horário noturno entre as 18h e as 7h, sendo que das 0h às 7h os ocupantes se encontram no período de descanso. Quanto aos equipamentos, teve-se em consideração os equipamentos mais utilizados tais como frigorífico, esquentador, televisão e computador.

Tabela 5.4 - Perfil diário de ocupação

Horário (h)	Metabolismo humano	Iluminação	Equipamentos
0-7 (7h)	Dormir	-	Frigorífico
7-9 (2h)	Atividade leve	Média	Frigorífico + Esquentador
9-18 (9h)	-	-	Frigorífico
18-24 (6h)	Atividade média	Média	Frigorífico + TV+ PC +Aparelho doméstico

Consequentemente, dentro de cada um destes ganhos estão associadas diferentes atividades, correspondendo cada uma a um valor de calor dissipado e que permite elaborar o perfil diário de ganhos internos. Assumiu-se uma habitação multifamiliar com quatro habitantes.



Tabela 5.5 - Ganhos internos por tipo de atividade do ocupante (Starner & Paradiso, 2004)

	<b>Metabolismo humano (W/ocupante)</b>
Dormir	81
Atividade leve	116
Atividade média	163

Tabela 5.6 - Ganhos internos de iluminação (Autodesk Education Community, n.d.)

	<b>Iluminação (W/m<sup>2</sup>)</b>
Unifamiliar	5
Multifamiliar	8

Tabela 5.7 - Ganhos internos por equipamento (Autodesk Education Community, n.d.)

	<b>Frigorífico</b>	<b>TV</b>	<b>Computador</b>	<b>Pequeno aparelho elétrico</b>	<b>Esquentador</b>
Equipamentos (W)	200	100	120	120	345

Com o perfil de ocupação traçado e com os respetivos valores de ganhos internos associados a cada atividade traçou-se um perfil diário de ganhos internos, representado na Figura 5.1 e cuja média é de 12.1 W/m<sup>2</sup>.

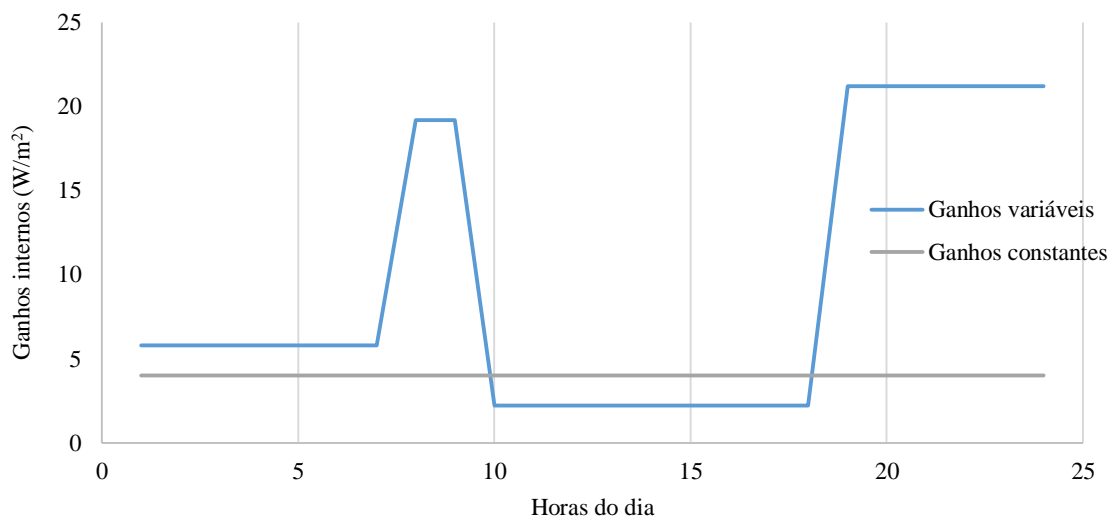


Figura 5.1 - Perfil diário de ganhos internos

É visível pela figura anterior a diferença dos ganhos internos na habitação quando estes se consideram constantes ou variáveis. Verifica-se que no intervalo horário entre as 9h e as 18h os ganhos variáveis são inferiores aos constantes pois apenas se considera a utilização de um equipamento elétrico neste período. São observáveis dois picos ao longo do dia, um da parte da manhã e um à noite, com os ocupantes, iluminação e mais equipamentos a contribuir para o aumento de ganhos.

## 6. Resultados e respetiva análise

Tendo em consideração a dimensão física do edifício e os comportamentos mencionados no Capítulo 5, foram analisadas as necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento do edifício, tendo em consideração os dois métodos mencionados no Capítulo 3: método quase-estacionário (sazonal) e método horário simplificado.

### 6.1 Método sazonal e horário simplificado

#### Método sazonal

No método sazonal foi utilizada uma folha de cálculo específica para a determinação do desempenho energético do edifício. Como os resultados obtidos por esta folha de cálculo equivalem às necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento adotadas no REH (assumindo que a habitação é aquecida/arrefecida na totalidade da sua área e durante vinte e quatro horas por dia), foi necessário incluir os fatores de correção a estes valores. Estes fatores encontram-se descritos na Tabela 5.3 e referem-se aos padrões comportamentais considerados - área da habitação normalmente aquecida/arrefecida e período de utilização dos sistemas de aquecimento e arrefecimento. De notar que as pontes térmicas lineares da envolvente interior e exterior foram desprezadas, assim como os coeficientes de transferência de calor através da envolvente em contato com edifícios adjacentes ( $H_{adj}$ ) e com o solo ( $H_{ecs}$ ).

No Anexo B encontram-se tabelados todos os resultados obtidos para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento para os dois métodos estudados e para ambas as habitações, sendo observáveis os valores determinados pelo REH e os valores encontrados após inclusão dos fatores de correção.

A Tabela 6.1 indica, em termos anuais, a energia despendida para aquecimento e arrefecimento em ambas as tipologias de habitação, para o método sazonal. A designação de comportamento “máximo”, “médio” e “mínimo” associa-se à intensidade de uso dos sistemas, de tal forma que o comportamento “máximo” corresponderá a um maior número de horas com utilização de sistemas de aquecimento e arrefecimento, conjugada com uma maior percentagem de área aquecida e arrefecida.

Tabela 6.1 - Energia utilizada para aquecimento e arrefecimento nas duas habitações, método sazonal

Comportamentos	(kWh/ano)			
	Multifamiliar		Unifamiliar	
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
<b>Máximo</b>	1845	2638	12084	4235
<b>Médio</b>	257	444	1684	712
<b>Mínimo</b>	17	93	112	150

### Método horário simplificado

Analogamente ao método sazonal, utilizou-se uma folha de cálculo para determinação das necessidades de energia segundo a metodologia do método horário. A análise de habitações multifamiliar e unifamiliar foi também efetuada. No entanto, a folha de cálculo permite a definição de perfis de ocupação e disponibilidade de aquecimento e arrefecimento variáveis com intervalos de tempo horários, pelo que este método não requer a introdução dos fatores corretivos relativos ao período de utilização no cálculo das necessidades de energia.

Considerou-se as temperaturas de *set-point* e valor de ganhos internos indicados na regulamentação: 18°C para a estação de aquecimento, 25°C para a estação de arrefecimento e 4 W/m<sup>2</sup> de ganhos internos.

Inputs														
Hwindow	112	W/K	floor area	90.3	m2	N	E	S	W	H				
H opaqu	125	W/K	solar aperture	0	12.3	0	0	0	0	0	m2			
inertia	3	(1: very light to 5 very heavy)	natural light aperture	0	0	0	0	0	0	0	m2			
			solar aperture with shading	0	5.59	0	0	0	0	0	m2			
	occup.	unocc.	area naturally lighted	90.3	m2									
ventilation	277	277	electrical lighting power	0	W									
internal gains	361	361	lighting control	1	1 manual switch (to be developed)									
set point heating	18	18												
set point cooling	25	25												
per floor area, for information														
Hwindow	1.25	W/(K. m2 of floor area)	N	E	S	W	H							
H opaqu	1.39	W/(K. m2 of floor area)	solar ratio	0	0.14	0	0	0	0	0	ad			
			natural light ratio	0	0	0	0	0	0	0	ad			
	occup.	unocc.	solar aperture with shading	0	0.06	0	0	0	0	0	ad			
ventilation	3.07	3.07	ratio of area naturally lighted	1										
internal gains	4	4	electrical lighting power	0	W/m2									
Monthly and yearly results														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	year	
heating	1012	683	388	182	29	0	0	0	0	31	352	837	3514	kWh
cooling	0	0	0	0	-11	-217	-599	-580	-292	-3	0	0	-1702	kWh
internal gains	269	243	269	260	269	260	269	269	260	269	260	268	3165	kWh
lighting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh

Figura 6.1 - Aplicação do método horário ao caso de estudo

Os *inputs* necessários relativos à caracterização geométrica e física das habitações foram obtidos através do método sazonal consoante o comportamento estudado: o coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos vãos envidraçados ( $H_{\text{window}}$ ), o coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos ( $H_{\text{tr}} = H_{\text{window}} + H_{\text{opaqu}}$ ), a abertura solar que corresponde à área efetiva coletora de ganhos solares na estação de aquecimento e a abertura solar com sombreamento que corresponde à área efetiva na estação de arrefecimento.

A aplicação deste método permite ter em consideração as diversas horas do dia e os comportamentos adotados em cada uma, isto é, com base nos horários de utilização de aquecimento e arrefecimento dos três comportamentos, definiram-se perfis horários de utilização dos respetivos sistemas. Desta forma, aos resultados obtidos pela folha de cálculo foi apenas necessária a introdução da outra variável – percentagem de área aquecida e arrefecida.

A Tabela 6.2 mostra, para o método horário simplificado, os resultados obtidos para a energia utilizada em ambas as estações e em ambas as habitações.

Tabela 6.2 - Energia utilizada para aquecimento e arrefecimento nas duas habitações, método horário

Comportamentos	(kWh/ano)			
	Multifamiliar		Unifamiliar	
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
<b>Máximo</b>	3171	1545	12886	629
<b>Médio</b>	622	501	2027	258
<b>Mínimo</b>	63	127	175	70

### Comparação entre métodos

A Figura 6.2 e a Figura 6.3 representam, respetivamente, as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento obtidas nos dois métodos, para ambas as habitações e para os três comportamentos estudados.

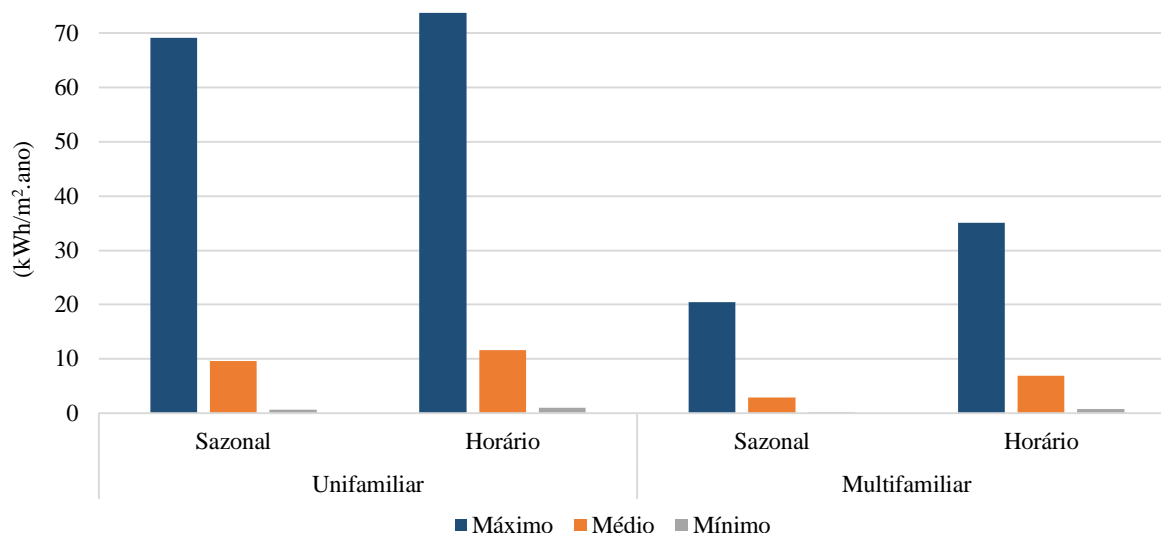


Figura 6.2 - Necessidades de energia para aquecimento para a habitação uni e multifamiliar

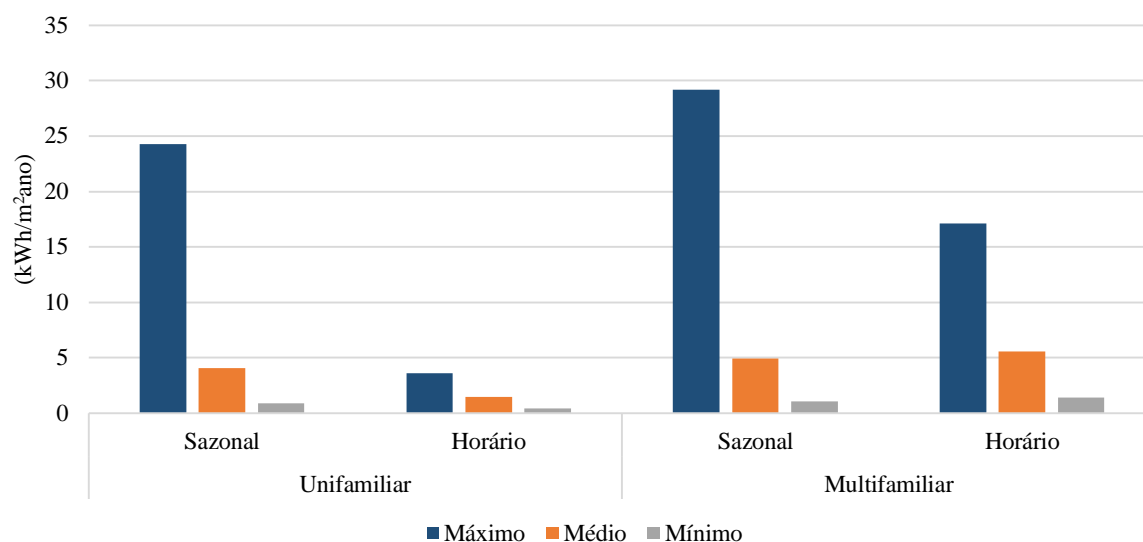


Figura 6.3 - Necessidades de energia para arrefecimento para a habitação uni e multifamiliar

Comparando os dois métodos estudados concluiu-se que na estação de aquecimento e de arrefecimento os resultados diferem. No inverno, é visível, para os três comportamentos, que o método horário apresenta valores de necessidades de energia significativamente superiores ao do método sazonal. Um exemplo disto é observável para o comportamento máximo, onde a diferença percentual entre os métodos indica que com o método horário se obtém valores superiores em 6% e 42% aos valores do método sazonal, na habitação unifamiliar e multifamiliar, respetivamente.

Por outro lado, no verão os resultados obtidos indicam o contrário - o método sazonal apresenta maiores necessidades de arrefecimento comparativamente ao método horário. Da mesma forma, um possível exemplo é o do comportamento máximo, cujo aumento percentual entre os dois métodos é de 85% e 41% para a habitação unifamiliar e multifamiliar, respetivamente.

Um estudo feito por Almeida (2015) corrobora em certa parte os resultados obtidos neste estudo, onde foi verificado que na estação de aquecimento os valores de ambos os métodos são bastante próximos e concordantes, sendo que na estação de arrefecimento o método sazonal apresenta valores maiores, tal como acontece no presente caso de estudo.

As diferenças obtidas entre os dois métodos estão relacionadas com a diferente abordagem da metodologia de cálculo e sobretudo na forma como os efeitos transientes e a inércia térmica são modelados. No método quase-estacionário o efeito transiente é considerado através de uma correção aos ganhos térmicos, pela inclusão de um parâmetro empírico, o fator de utilização de ganhos. No método horário simplificado a inércia térmica é modelada por analogia a uma capacitância térmica total, que quantifica de uma forma agregada todos os elementos com capacidade térmica. Há que ter, por isso, em conta que ambas as formas de modelação são sempre muito simplificadas face à complexidade dos fenómenos de transferência. Para além disso, a forma como é introduzida a influência dos ocupantes em cada um dos métodos é diferente, uma vez que aos resultados do método quase-estacionário aplica-se apenas um fator corretivo temporal, enquanto que o método horário considera intrinsecamente os perfis de utilização horários.

### Comparação habitação unifamiliar e multifamiliar

Pela Figura 6.2, é observável que na estação de aquecimento e em ambas as metodologias utilizadas, a habitação unifamiliar precisa de mais energia útil para manter o interior da habitação a uma temperatura superior a 18°C. Isto está relacionado com o facto de a casa unifamiliar ter uma área útil de pavimento significativamente superior à da habitação multifamiliar e ainda porque apresenta uma área de vãos envidraçados inferior, não permitindo desta forma a entrada de tantos ganhos solares, culminando numa maior necessidade de aquecimento. Da mesma forma, a habitação unifamiliar ao apresentar menor área de vãos e maior área das fachadas, terá uma maior transmissão de calor pelas paredes, dissipando mais calor para o exterior e aumentando a necessidade de aquecimento.

Por outro lado, na estação de arrefecimento os resultados diferem um pouco, sendo perceptível que a habitação multifamiliar é a que consome mais energia em arrefecimento. Analogamente à estação de aquecimento, a explicação para esta diferença tem que ver com a área de vãos envidraçados e área de fachada da habitação unifamiliar. Uma reduzida área de janelas não permite ganhos solares tão significativos, enquanto a maior dissipação de calor será pelas fachadas, resultando em menores necessidades de arrefecimento. O contrário é verificado na habitação multifamiliar, com o aumento das necessidades de arrefecimento.

### Semanas típicas

As figuras seguintes mostram uma semana típica de inverno e de verão para um comportamento médio na habitação multifamiliar com ganhos internos constantes.

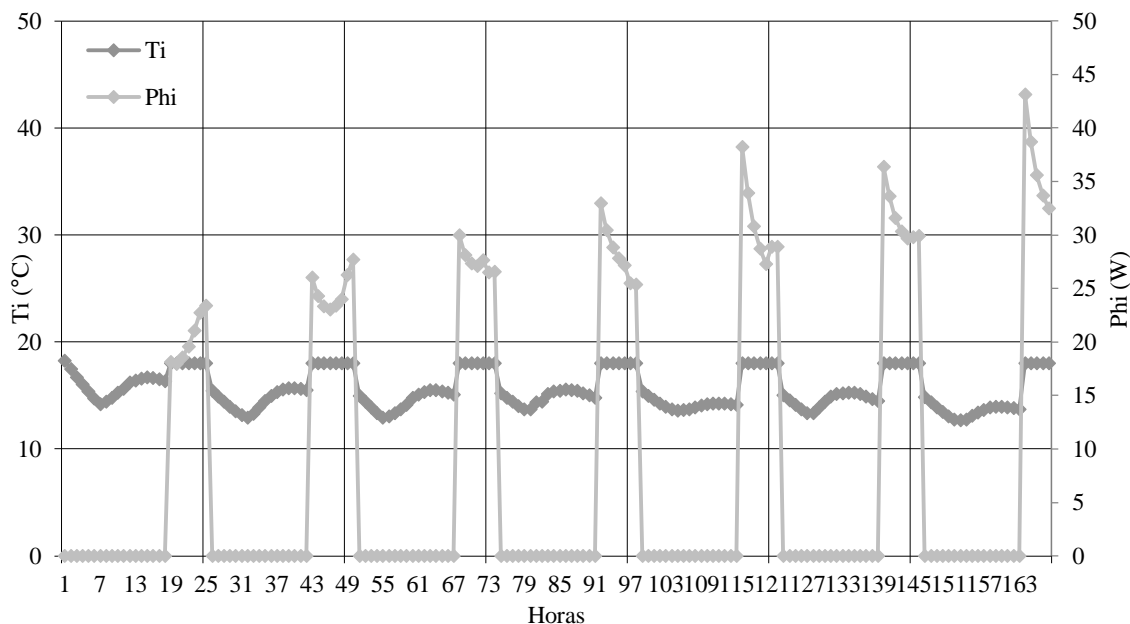


Figura 6.4 - Semana típica de inverno para o comportamento médio multifamiliar

Na Figura 6.4 é visível que a temperatura interior da habitação encontra-se regularmente no intervalo entre 10°C a 20°C. A linha cinzenta clara mostra a diferença de temperatura quando os sistemas de aquecimento estão ligados (entre as 17h e as 24h todos os dias da semana), sendo visível que sempre que os sistemas são ligados existe um acréscimo da temperatura interior.

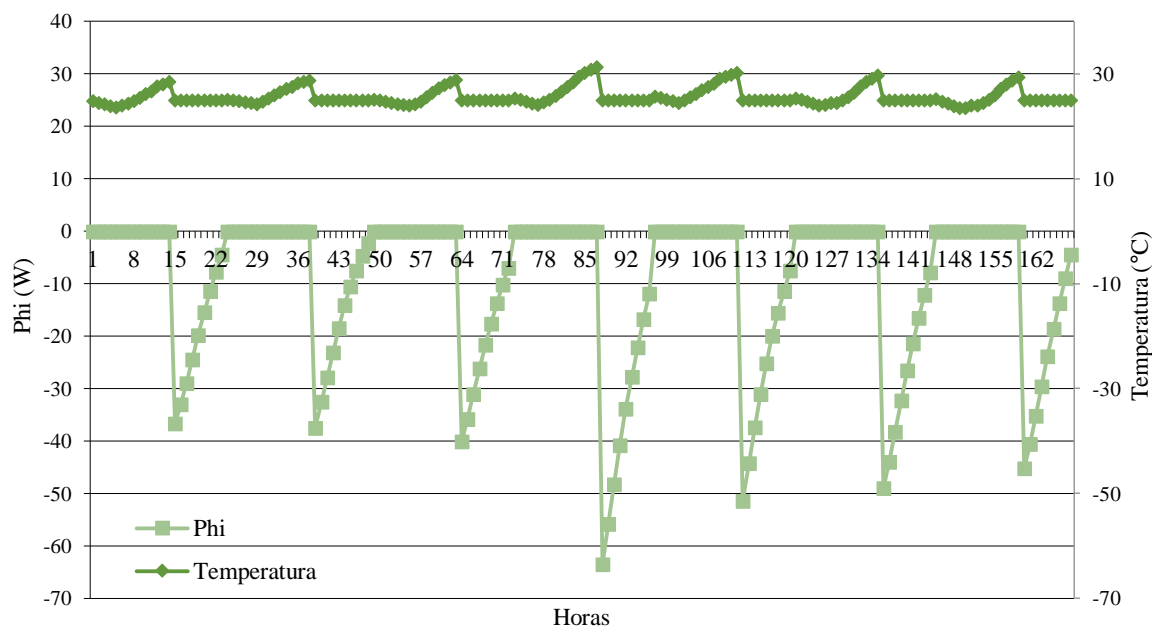


Figura 6.5 - Semana típica de verão para o comportamento médio multifamiliar

Analogamente, na semana típica de verão, o interior da casa encontra-se a temperaturas mais elevadas (entre os 20°C e 32°C), sendo necessário recorrer a arrefecimento. A linha verde clara mostra os picos com arrefecimento da habitação (entre as 13h e as 22h todos os dias da semana), evidenciando um decréscimo significativo da temperatura interior.

## 6.2 Ganhos constantes vs ganhos variáveis

Procurou-se também avaliar as discrepâncias existentes quando se abrangia um perfil de ganhos internos variáveis através do método horário.

A Tabela 6.3 mostra os resultados obtidos para a energia utilizada para aquecimento e arrefecimento da habitação multifamiliar quando se assumem ganhos internos constantes de 4 W/m<sup>2</sup> e quando estes ganhos são variáveis e com uma média de 12.1 W/m<sup>2</sup>.

Tabela 6.3 - Energia utilizada para aquecimento e arrefecimento para os dois tipos de ganhos internos

Comportamentos	Ganhos constantes (4W/m²)		Ganhos variáveis (12.1W/m²)	
	(kWh/ano)			
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
Máximo	3171	1545	1870	2439
Médio	622	501	272	802
Mínimo	63	127	18	190

É perceptível que, para os três comportamentos, a energia utilizada para aquecimento diminui quando se aplica o perfil de ganhos internos variáveis. Contudo, em termos de arrefecimento, conclui-se o contrário, existindo um acréscimo de energia necessária quando é aplicado o perfil de ganhos internos variáveis.

Esta discrepância nos valores encontrados depreende-se com a totalidade dos ganhos internos da habitação, isto é, assumindo o perfil de ganhos variáveis, o valor de ganhos por área útil da habitação aumentou, existindo desta forma um aumento da temperatura da habitação. Naturalmente, este acréscimo de temperatura é favorável no inverno e desfavorável no verão, daí o decréscimo de energia para aquecimento e o aumento de energia para arrefecimento quando os ganhos internos são superiores.

### 6.3 Comparação dos consumos

Os resultados apresentados na Tabela 6.4 mostram, com base nos cálculos efetuados para as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, o valor da diferença encontrado para a habitação multifamiliar, isto é, a discrepância existente entre o consumo estimado assumido pela regulamentação e o consumo expectável quando são introduzidos parâmetros referentes ao comportamento dos ocupantes.

Tabela 6.4 - Diferenças entre consumos para o método sazonal e horário, assumindo uma habitação multifamiliar

Comportamentos	Sazonal		Horário	
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
Máximo	10%	17%	10%	10%
Médio	87%	86%	57%	63%
Mínimo	99%	97%	90%	90%

Como previamente analisado no inquérito ao consumo de energia nas habitações, a existência destas diferenças em termos de aquecimento e arrefecimento de ar ambiente pode ser maioritariamente justificada pela ocorrência de algumas discrepâncias tais como a área da habitação aquecida e arrefecida, o número de horas e o número de dias em que o aquecimento e arrefecimento estão ligados.

Na Tabela 6.4 é primeiramente visível que nas duas metodologias os três comportamentos estudados assumem valores bastante díspares entre si. O comportamento máximo e que no inquérito elaborado



corresponde a uma percentagem mínima de inquiridos, é o que apresenta um valor inferior de diferença, adotando percentagens inferiores a 20%. Desta forma, este comportamento representativo de uma família com elevados consumos de energia útil para aquecimento e arrefecimento é o que se aproxima mais dos valores assumidos na regulamentação e que, na maioria das situações, são valores sobrestimados. Por conseguinte, o comportamento médio cujas atitudes são tidas pela maioria dos inquiridos no inquérito, apresenta valores próximos de 90% no método sazonal, evidenciando uma significativa discrepância entre o consumo real dos habitantes e o valor estimado pela regulamentação. Da mesma forma, o comportamento mínimo ainda apresenta valores superiores e muito próximos de 100%. Estas diferenças obtidas assemelham-se aos valores encontrados por Magalhães & Leal (2014) para o efeito *prebound*, cujos valores encontrados foram de 95% para o aquecimento de ar ambiente e de 97% para o arrefecimento de ar ambiente. Pela Tabela 6.4 também são observáveis as diferenças obtidas pelos dois métodos estudados. Comparativamente ao método quase-estacionário, o método horário apresenta valores de diferenças inferiores, principalmente no comportamento médio. Estas inferiores percentagens no método horário advêm de superiores necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, sendo os seus valores mais próximos das necessidades obtidas pelo REH.

As diferenças obtidas pelos dois métodos podem estar intrinsecamente relacionadas com a abordagem distinta de cada metodologia. À partida, o método horário terá um erro inferior ao método quase-estacionário pois equaciona a influência diária e horária de variados componentes tais como a ocupação da habitação, ganhos internos, mecanismos de sombreamento, ventilação, entre outros.

Para a habitação unifamiliar foram também determinadas as diferenças obtidas entre consumos, porém, os resultados encontrados foram semelhantes aos da Tabela 6.4.

## 6.4 Comparação com o Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico

Com base nos resultados obtidos para a energia útil necessária para aquecer e arrefecer a habitação multifamiliar com comportamento médio, converteram-se os respetivos valores de modo a obter-se os consumos energéticos por tipo de energia e tipo de utilização.

Para tal, foram utilizados os valores de coeficiente de performance (COP) e de rendimento nominal mencionados na Portaria n.º349-B de 29 de novembro, cujos valores se encontram de seguida:

- Resistência elétrica para aquecimento ambiente: rendimento nominal de 100%
- Bomba de calor com requisitos mínimos de eficiência (classe C): COP de 3
- Caldeira com requisitos mínimos de eficiência energética (classe B): rendimento nominal de 89%.

A Tabela 6.5 mostra os valores de consumo de energia para aquecimento e arrefecimento, no método horário, quando se utiliza uma resistência elétrica, bomba de calor e uma caldeira a gás, e ainda os valores indicados no Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico. No caso da resistência elétrica para aquecimento, como o seu rendimento nominal é de 100%, o valor obtido para o caso de estudo mantém-se - 622 kWh/ano.

Tabela 6.5 - Consumo de energia da habitação multifamiliar, por tipo de energia e de utilização, para o método horário

	(kWh/habitação/ano)	
	<b>Inquérito ao Consumo</b>	<b>Caso de estudo (comportamento médio)</b>
<b>Aquecimento do ar ambiente com eletricidade (resistência elétrica)</b>	419	622
<b>Arrefecimento do ar ambiente com eletricidade (bomba de calor)</b>	174	167
<b>Aquecimento do ar ambiente com caldeira a gás</b>	1233	699

Ao comparar-se os valores de consumo do caso de estudo e os valores indicados no inquérito é possível verificar que quando a fonte de energia é a eletricidade, isto é, quando se utiliza uma resistência elétrica para aquecimento, os valores diferem. É visível que o consumo praticado no caso de estudo é superior ao consumo indicado no inquérito, sendo, aproximadamente, 1.5 vezes superior. Todavia, se se tiver em consideração o comportamento mínimo, o consumo praticado no caso de estudo é inferior ao do inquérito, sendo este último sete vezes superior. Contrariamente, no comportamento máximo, o consumo no caso de estudo excede o consumo estatístico, em, aproximadamente, 7.5 vezes.

Relativamente ao arrefecimento com a bomba de calor, é perceptível na tabela que os valores são bastante próximos, evidenciando que o consumo expectável para uma família portuguesa coincide com o encontrado no caso estudado.

Por outro lado, quando a fonte de energia é o gás natural e é utilizada uma caldeira a gás para efeitos de aquecimento do ar, os valores encontrados diferem em cerca de 57%, onde o consumo expectável ultrapassa o valor encontrado para o caso de estudo.

## 6.5 Mecanismos de sombreamento

No capítulo 4 foram apresentados os padrões comportamentais relacionados com os dispositivos de sombreamento e/ou oclusão noturna e sua respetiva utilização. Verificaram-se algumas diferenças entre os comportamentos assumidos na metodologia de cálculo pelo REH e os comportamentos adotados pelos habitantes do inquérito. Com o intuito de compreender a influência que esta diferença de comportamentos tem nas necessidades de energia da habitação, estudaram-se quatro casos distintos, correspondentes às quatro diferenças encontradas entre o REH e o inquérito. A Tabela 6.6 apresenta, para cada caso, os comportamentos adotados e respetivas necessidades nominais anuais de energia, assumindo uma habitação multifamiliar com comportamento médio.

Para cada um dos casos foram efetuadas alterações na folha de cálculo de determinação do desempenho energético do edifício, cujas modificações estão maioritariamente relacionadas com os fatores solares associados a cada padrão comportamental.

Tabela 6.6 – Necessidades nominais anuais de energia para os quatro casos

Comportamentos			
	REH (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Caso de estudo	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
<b>Caso 1</b>	Quando existem estores/portadas nas habitações, estas encontram-se sempre fechadas no período noturno  <b>N<sub>ic</sub> = 2.9</b>	9% dos ocupantes afirmam que raramente ou nunca fecham os estores/portadas	<b>N<sub>ic</sub> = 3.4</b>
<b>Caso 2</b>	No período de inverno as cortinas das janelas estão sempre abertas, sendo que no período de verão estas se encontram parcialmente abertas  <b>N<sub>ic</sub> = 2.9</b>	As cortinas nas janelas das principais divisões, quando existem, estão fechadas em 22% das habitações, independentemente na estação em que se encontra	<b>N<sub>ic</sub> = 3.2</b>
<b>Caso 3</b>	Durante os dias de inverno, os dispositivos de sombreamento encontram-se sempre abertos  <b>N<sub>ic</sub> = 2.9</b>	Durante os dias de inverno, os dispositivos de sombreamento (incluindo as cortinas das janelas) encontram-se parcialmente abertos em 50% das habitações	<b>N<sub>ic</sub> = 4.3</b>
<b>Caso 4</b>	Durante os dias de verão, os dispositivos de sombreamento encontram-se parcialmente abertos (dependendo da orientação da janela)  <b>N<sub>vc</sub> = 4.9</b>	Durante os dias de verão, os dispositivos de sombreamento (incluindo as cortinas das janelas) encontram-se sempre abertas em 11% das habitações	<b>N<sub>vc</sub> = 10.0</b>

O caso 1, relativo à posição dos estores/portadas no período noturno, permite concluir que quando os habitantes raramente ou nunca fecham estes mecanismos, surge um aumento das necessidades de aquecimento. Devido às inferiores temperaturas exteriores durante a noite, se os estores/portadas se encontrarem abertos ocorrerá uma maior transferência de calor do interior para o exterior. Esta transferência resultará numa descida da temperatura interior e posterior aumento de necessidades para aquecer a habitação.

No caso 2, ao assumir-se que as cortinas das principais divisões se encontram fechadas no inverno, verifica-se um aumento das necessidades de aquecimento. O facto de este mecanismo de sombreamento não permitir a entrada de tantos ganhos solares na habitação, resulta em gastos superiores de aquecimento.

Analogamente ao caso anterior, o caso 3 assume a mesma lógica de raciocínio. Como os dispositivos de sombreamento se encontram parcialmente abertos no inverno e não totalmente abertos, existe uma redução

de transferência de energia para o interior da habitação, culminando novamente em maiores necessidades de energia para aquecimento.

Relativamente ao período veranil, o caso 4 apresenta uma mudança de comportamentos acerca dos dispositivos de sombreamento, onde 11% dos inquiridos deixam estes dispositivos sempre abertos no verão. Este aumento de abertura dos mecanismos permitirá superiores ganhos solares na habitação, sendo necessária, aproximadamente, 50% mais energia para arrefecimento.

Generalizando para os quatro casos estudados, conclui-se que, independentemente da estação, as necessidades de energia aumentam quando se assumem os comportamentos indicados no inquérito. Desta forma, torna-se imperativo considerar os comportamentos reais adotados nas habitações, permitindo uma melhor determinação do consumo real existente.

## 7. Análise estatística dos comportamentos dos habitantes

Ao longo da dissertação foi estudada a importância dos comportamentos dos habitantes no consumo de energia da habitação e a sua influência na existência de efeito *prebound*.

Foi possível verificar que a percentagem de área da habitação que é normalmente aquecida e arrefecida, as horas do dia e o número de dias em que os sistemas de aquecimento e arrefecimento são utilizados assumem um papel determinante na variação das necessidades nominais anuais de energia em ambas as estações.

Como mencionado no capítulo 2, a legislação existente antes do REH – RCCTE – aplicava um fator de 0.10 (equivalente a um efeito *prebound* de 90%) ao cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária para aquecimento e arrefecimento do ar ambiente. Este fator, denominado neste trabalho por fator comportamental, tinha como propósito incluir nos cálculos a componente comportamental dos habitantes pois, na maioria das situações, quando introduzida esta variável, as necessidades de energia encontradas eram inferiores às obtidas na metodologia de cálculo do regulamento.

Apesar da aplicação deste fator ser logicamente benéfica para habitações cujo consumo de energia é significativamente inferior ao encontrado pela regulamentação, a existência de habitações com consumos bastante elevados tornava a utilização deste fator arbitrária, não existindo uma regra que diferenciase as próprias habitações.

Com a entrada em vigor da nova regulamentação – REH – este fator comportamental deixou de ser aplicado.

De modo a compreender se este fator se assemelha ao caso de estudo analisado, foi estudado, para ambas as estações, qual seria o valor médio encontrado para o mesmo.

Procedeu-se à análise estatística das duas variáveis – percentagem de área aquecida/arrefecida e percentagem de horas com aquecimento/arrefecimento – tendo em consideração a probabilidade de ocorrência do produto das duas variáveis.

A função de distribuição utilizada nas duas estações foi a gaussiana inversa pois, da generalidade de funções existentes no Matlab, foi a que apresentou uma probabilidade (*loglikelihood*) superior, condição esta que a torna a melhor função para descrever estes fatores comportamentais. A gaussiana inversa é descrita pela seguinte expressão:

$$f(x) = \left( \frac{\lambda}{2\pi x^3} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left( -\frac{\lambda (x - \mu)^2}{2\mu^2 x} \right) \quad (7.1)$$

A Figura 7.1 e a Figura 7.2 mostram a função de distribuição de probabilidade para o fator comportamental na estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

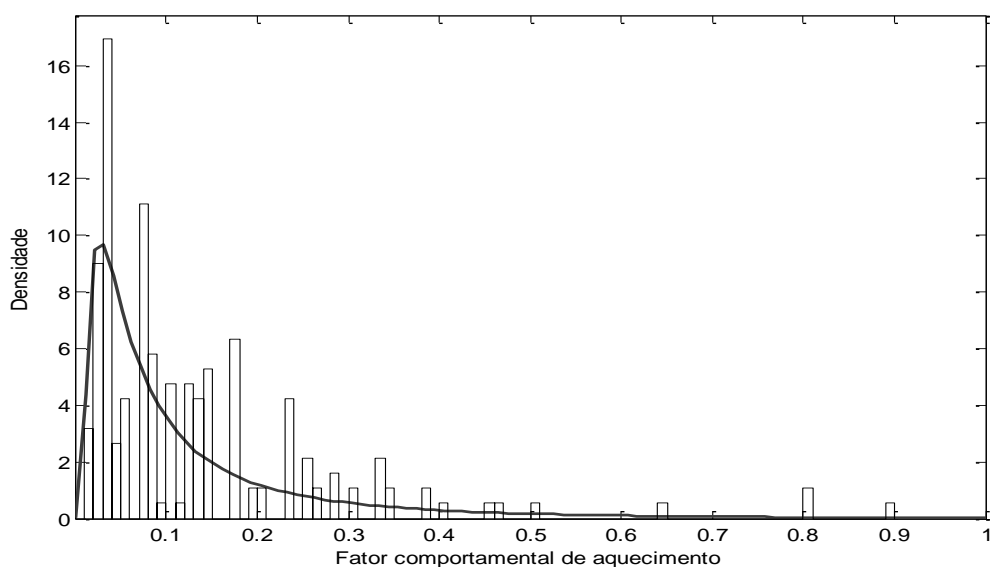


Figura 7.1 - Fator comportamental para o aquecimento (todas as fontes de energia)

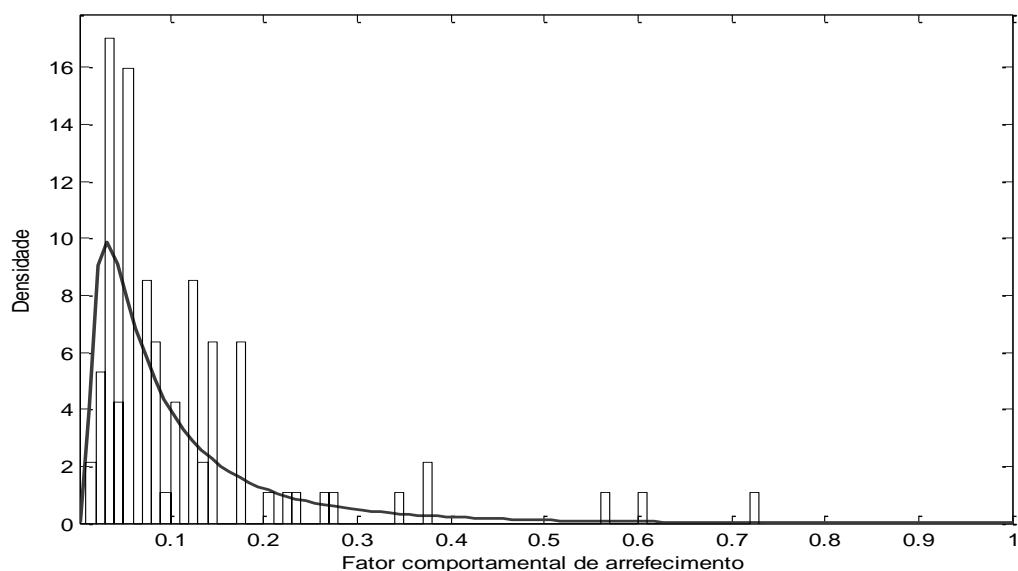


Figura 7.2 – Fator comportamental para o arrefecimento

Os habitantes que utilizam combustíveis fósseis para aquecimento, aquecem em média 55% da área total da habitação. Este valor é superior ao verificado quando a fonte de energia utilizada é a eletricidade, cujo média é de 40% da área. Em termos de horas de utilização, quando são usados fontes fósseis a média horária é de 7h, contrariamente às 6h verificadas para a eletricidade. Estes valores superiores para o caso dos combustíveis fósseis resultam num fator médio comportamental superior, 0.175.

Tabela 7.1 - Funções de distribuição de probabilidade para os fatores comportamentais de aquecimento e arrefecimento

	<b>Tipo de distribuição</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Média</b>
<b>Aquecimento (todas as fontes)</b>	Gaussiana inversa	$\lambda = 0.083$	$\mu = 0.129$
<b>Aquecimento (eletricidade)</b>		$\lambda = 0.086$	$\mu = 0.116$
<b>Aquecimento (combustíveis fósseis)</b>		$\lambda = 0.102$	$\mu = 0.175$
<b>Arrefecimento</b>		$\lambda = 0.101$	$\mu = 0.112$

É visível na Tabela 7.1 que os valores médios dos fatores comportamentais encontrados para o aquecimento e arrefecimento são próximos do valor assumido na antiga regulamentação RCCTE (0.10).

Procedeu-se ainda à determinação dos percentis correspondentes a cada fator pois estes são indicadores do intervalo do consumo de energia esperado. A Tabela 7.2 mostra os valores dos vários percentis e que podem ser úteis para quantificar o comportamento dos habitantes no cálculo de energia.

Tabela 7.2 - Percentis dos três fatores comportamentais

<b>Percentis</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Aquecimento (Eletricidade)</b>	<b>Aquecimento (Combustíveis fósseis)</b>	<b>Arrefecimento</b>
5°	0.020	0.020	0.020	0.020
10°	0.020	0.020	0.030	0.030
25°	0.030	0.030	0.060	0.040
50°	0.080	0.080	0.115	0.070
75°	0.170	0.150	0.230	0.130
90°	0.280	0.250	0.337	0.221
95°	0.380	0.330	0.644	0.366

Ao aplicar-se os fatores comportamentais ao consumo energético calculado através da metodologia quase-estacionária, é importante ter em consideração que este fator influência a totalidade da energia calculada, ou seja, as diferenças espaciais e temporais são desprezadas.

Como o comportamento dos habitantes é normalmente desconhecido, a utilização deste fator comportamental no cálculo de energia para aquecimento e arrefecimento em termos de intervalos de valores é preferível à utilização de apenas um valor específico. Um exemplo prático pode ser verificado para uma habitação que consuma 2000 kWh/ano e que tenha um perfil baixo de aquecimento (percentil 5 por exemplo), resultando numa grande probabilidade do consumo de energia para aquecimento se encontrar na ordem dos 40 kWh/ano. Por outro lado, se os habitantes tiverem um perfil de aquecimento mais elevado (percentil 95), o seu consumo estaria por volta de 760 kWh/ano. Ao utilizar-se eletricidade e combustíveis fósseis, o consumo energético de aquecimento poderá ser tão levado quanto 660 kWh/ano e 1300 kWh/ano, respetivamente.

## 8. Conclusões

Sendo o setor doméstico o terceiro maior consumidor de energia final em Portugal, representando 17.7% deste consumo, torna-se crucial caracterizar o desempenho energético dos edifícios. O REH é o responsável por esta caracterização, dando especial interesse ao estudo do comportamento térmico nas duas estações e ao estudo da eficiência dos sistemas presentes no edifício.

A metodologia de cálculo utilizada no REH permite determinar as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, assumindo condições nominais: aquecimento e arrefecimento na totalidade da área da habitação, durante 24 horas por dia e durante 7 dias por semana. Assumindo os pressupostos desta metodologia surge o efeito *prebound*, cujo valor representa a discrepância existente entre o consumo estimado pelo REH e o consumo real da habitação.

É neste sentido que surge o objetivo do presente trabalho: caracterizar a importância que os ocupantes das habitações têm no consumo do edifício e posteriormente no surgimento deste efeito. Com este trabalho pretendeu-se coligar duas vertentes dos edifícios e que são igualmente importantes: física e comportamental. A dimensão física da habitação representa as particularidades do próprio edifício, incluindo espaços e materiais. A dimensão comportamental representa a interação da habitação e dos seus ocupantes, incluindo interação com os sistemas existentes e ações praticadas. Foi a dimensão comportamental que permitiu caracterizar as tendências gerais dos comportamentos adotados nas famílias e que possibilitou aproximar o consumo calculado a um consumo efetivamente mais real.

Desta forma, aplicaram-se duas metodologias distintas, método sazonal e horário, cujo objetivo era encontrar as necessidades de aquecimento e arrefecimento de três famílias com comportamentos diferentes e que possuíam dois tipos de habitações – unifamiliar e multifamiliar.

Foi possível encontrar algumas conclusões a partir da análise dos resultados obtidos:

- Os padrões comportamentais indicados pelos inquiridos no inquérito diferem significativamente dos comportamentos assumidos na legislação. Especificamente para o aquecimento e arrefecimento as diferenças encontradas relacionam-se com os equipamentos existentes nas habitações, mas que não são os maioritariamente utilizados, com a área da habitação que é aquecida e arrefecida e com a quantidade de horas e dias em que estes sistemas estão em funcionamento. Verifica-se que os ocupantes não utilizam estes equipamentos na totalidade da habitação, 24 horas por dia nem todos os dias da respetiva estação.
- Comparando os dois métodos aplicados conclui-se que na estação de aquecimento os resultados encontrados pelos dois métodos são semelhantes, obtendo-se diferenças percentuais mínimas para a habitação unifamiliar (6%). Todavia, na estação de arrefecimento as diferenças são mais notórias, obtendo-se uma diferença de 85% na habitação unifamiliar.
- Fazendo o paralelo entre as duas habitações estudadas verificou-se que no inverno a habitação unifamiliar é a que consome mais energia para aquecer a casa, sendo que no verão é a multifamiliar que necessita de mais energia útil para arrefecimento. A explicação para estes resultados prende-se com os ganhos solares existentes e com a transferência de calor pela envolvente opaca. A habitação unifamiliar ao possuir uma maior área de pavimento, mas uma área inferior de vãos envidraçados, não receberá tantos ganhos solares, mas terá uma grande transmissão de calor pelas paredes,



culminando em maior consumo de aquecimento, mas num decréscimo de consumo de arrefecimento no verão.

- Para os três comportamentos estudados e para ambos os métodos foram encontradas diferenças entre o consumo estimado pelo REH e o consumo expectável quando se incluem os comportamentos dos ocupantes. Conclui-se que à medida que os comportamentos se tornam mais intensivos no uso de energia, do mínimo para o máximo, existe um decréscimo desta diferença em ambas as estações, evidenciando uma maior proximidade entre os valores de consumo calculado no comportamento máximo e o consumo estimado pelo REH. Sendo assim, o comportamento mínimo é o que apresenta valores superiores, entre 90% a 100%. Estes valores encontrados assemelham-se aos valores encontrados por Magalhães & Leal (2014), cujos valores rondavam os 95% para o aquecimento de ar ambiente e de 97% para o arrefecimento de ar ambiente.
- Comparando os dois padrões comportamentais relacionados com os mecanismos de sombreamento e respetivas necessidades de energia (REH e inquérito), conclui-se que para os quatro casos estudados, e independentemente da estação, existe sempre um aumento de necessidades quando se assumem os comportamentos indicados pelos habitantes. As principais razões destes aumentos então diretamente relacionadas com a transferência de calor existente entre o exterior e interior.

Com o intuito de fazer uma análise comparativa com a legislação e de quantificar a influência da dimensão dos habitantes no consumo residencial, procedeu-se à análise estatística dos comportamentos. Esta análise permitiu quantificar o fator comportamental existente em ambas as estações e que provém dos resultados obtidos no inquérito, indicativos da área e horas de aquecimento e arrefecimento em cada habitação. Concluiu-se que no inverno, este fator assume um valor médio de, aproximadamente, 0.13, sendo que no verão este é de 0.11. É importante salientar a proximidade existente entre estes valores encontrados e o valor antigamente assumido na legislação em vigor até 2013 – RCCTE, cujo valor indicado para este fator era de 0.10. Discriminando o aquecimento por várias fontes de energia, concluiu-se que quando é utilizada eletricidade para este fim, o valor do fator comportamental decresce (0.12) comparativamente ao encontrado quando se tem em conta todas as fontes energéticas. Porém, quando a fonte utilizada são os combustíveis fósseis, o valor aumenta, encontrando-se um valor de, aproximadamente, 0.18. A aplicação futura deste fator comportamental será, à partida, mais benéfica para famílias com reduzidos consumos de aquecimento e de arrefecimento de ar pois permitirá a aproximação entre ambos e a obtenção de um consumo medido mais realístico. Por outro lado, se se tiver em consideração uma família com elevados consumos em ambas as tipologias de utilização, a aplicação deste fator comportamental poderá não ser crucial pois na realidade o consumo calculado pela legislação e o consumo medido na habitação já são aproximados, ou seja, o efeito *prebound* já é reduzido.

Por fim, foi possível inferir que qualquer um dos métodos poderá ser aplicado para determinar as necessidades de energia de uma habitação, contudo, se se tiver informação acerca da utilização horária dos equipamentos e dos ganhos térmicos internos a escolha recairá sobre o método horário pois possibilita esta análise mais detalhada. Conclui-se também que um modo de introduzir as decisões dos ocupantes e a sua interação com a habitação poderá passar pela aplicação de um fator de correção ao consumo. Este fator comportamental permitirá determinar consumos mais aproximados à realidade existente na habitação, dando voz aos principais intervenientes, os habitantes.

Em suma, conclui-se que é emergente a necessidade de inclusão dos comportamentos dos ocupantes e da sua interação com os equipamentos e mecanismos existentes na habitação pois estes assumem um papel preponderante no consumo final das habitações. Esta inclusão permitirá, futuramente, um maior conhecimento do denominado efeito *prebound* e de possíveis soluções para a sua minimização. Da mesma forma, é importante salientar a necessidade de desenvolvimentos futuros na área do setor doméstico e do seu consumo, com especial importância às metodologias de cálculo adotadas. Um exemplo de aperfeiçoamento dos métodos seria a inclusão do fator comportamental, mas dando destaque aos diferentes tipos de famílias e consumos existentes, pois a cada um corresponderia um fator de correção individual.

## Referências bibliográficas

- ADENE. (2013). Guia da eficiência energética.
- APREN. (n.d.). Portal da Associação Portuguesa de Energias Renováveis. Obtido em: <http://www.apren.pt/>
- Autodesk Education Community. (n.d.). Obtido em: <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/equipment-and-lighting-loads>
- Berkhout, P. H. G., Muskens, J. C., & W. Velthuisen, J. (2000). Defining the rebound effect. *Energy Policy* 28:425-432
- Bourrelle, J. S. (2014). Zero energy buildings and the rebound effect: A solution to the paradox of energy efficiency? *Energy and Buildings* 84:633-640
- Branco, G., Lachal, B., Gallinelli, P., & Weber, W. (2004). Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on long-term experimental data. *Energy and Buildings* 36:543-555
- Cayre, E., Allibe, B., Laurent, M., & Osso, D. (2011). There are people in the house ! how the results of purely technical analysis of residential energy consumption are misleading for energy policies. *European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) Summer School* 1675-1683
- Dall'O', G., Sarto, L., Galante, A., & Pasetti, G. (2012). Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy). *Energy and Buildings* 47:247-253
- Daniel, L., Soebarto, V., & Williamson, T. (2015). House energy rating schemes and low energy dwellings: The impact of occupant behaviours in Australia. *Energy and Buildings* 88:34-44
- Decreto-Lei nº118/2013 nº159 - 20 de agosto (Diário da República, 1ª Série 2013) (2013).
- Despacho nº15793-E/2013 Nº234 - 3 de dezembro (Diário da República 2ª Série 2013) (2013).
- Despacho nº15793-F/2013 Nº234 - 3 de dezembro (Diário da República 2ª Série 2013) (2013).
- Despacho nº15793-I/2013 Nº234 - 3 de dezembro (Diário da República 2ª Série 2013) (2013).
- Despacho nº15793-K/2013 Nº234 - 3 de dezembro (Diário da República 2ª Série 2013) (2013).
- DGEG, & INE. (2010). *Inquérito ao Consumo de Energia no sector doméstico 2010*. Lisboa: Direção Geral de Energia e Geologia. Instituto Nacional de Estatística.
- EN ISO 13790. (2008). *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*.
- Giuliani, M., Henze, G. P., & Florita, A. R. (2016). Modelling and calibration of a high-mass historic building for reducing the prebound effect in energy assessment. *Energy and Buildings* 116:434-448
- Greening, L. A., Greene, D. L., & Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey. *Energy Policy* 28:389-401

- Hens, H., Parijs, W., & Deurinck, M. (2010). Energy consumption for heating and rebound effects. *Energy and Buildings* 42:105-110
- IEA. (2016a). Energy Policies of IEA Countries - Portugal.
- IEA. (2016b). Key World Energy Trends: World energy balances.
- Kim, J., & De Dear, R. (2012). Identifying substantive IEQ factors for efficient building management. *46th Annual Conference of the Architectural Science Association*.
- Magalhães, S. M. C., & Leal, V. M. C. (2014). Characterization of thermal performance and nominal heating gap of the residential building stock using the EPBD-derived databases: The case of Portugal mainland. *Energy and Buildings* 70:167-179
- Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2015). Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings: Relative importance of building, household and behavioural characteristics. *Energy and Buildings* 105:43-59
- Millet, J.-R. (2007). The simple hourly method of prEN 13790: a dynamic method for the future. *Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors*.
- Oliveira Panão, M., Camelo, S., & Gonçalves, H. (2011). Assessment of the Portuguese building thermal code: Newly revised requirements for cooling energy needs used to prevent the overheating of buildings in the summer. *Energy and Buildings* 36:3262-3271
- Portaria nº349-B/2013 N°232 - 29 de novembro (Diário da República, 1ª Série 2013) (2013).
- Projeto Suscity. (2015). Obtido em: <http://groups.ist.utl.pt/suscity-project/inicio/>
- Rosenow, J., & Galvin, R. (2013). Evaluating the evaluations: Evidence from energy efficiency programmes in Germany and the UK. *Energy and Buildings* 62:450-458
- Santin, O. (2013). Occupant behaviour in energy efficient dwellings: Evidence of a rebound effect. *Journal of Housing and the Built Environment* 28:311-327
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., & Sommerville, M. (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: A review. *Energy Policy* 37:1356-1371
- Starner, T., & Paradiso, J. a. (2004). Human Generated Power for Mobile Electronics. *Low-Power Electronics* 1-30
- Sunikka-Blank, M., & Galvin, R. (2012). Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information* 40:260-273
- Teli, D., Dimitriou, T., James, P. A. B., Bahaj, A. S., Ellison, L., & Waggott, A. (2016). Fuel poverty-induced "prebound effect" in achieving the anticipated carbon savings from social housing retrofit. *Building Services Engineering Research & Technology* 37:176-193
- Tigchelaar, C., Daniels, B., & Menkveld, M. (2011). Obligations in the existing housing stock : who pays the bill? *ECEEE 2011 Summer Study on Energy Efficiency, European Council for an Energy Efficiency Economy* 2-170

## **Anexo A – Questões do inquérito**

### Categoria 1 – Aquecimento de ar ambiente

1. Que equipamento(s) de aquecimento do ar ambiente existe(m) na habitação onde mora? Deve indicar todos os equipamentos que existem na habitação, mesmo aqueles que utiliza com pouca frequência.
2. Do(s) equipamento(s) de aquecimento do ar ambiente indicados anteriormente, qual ou quais utiliza com maior frequência?
3. Durante os meses mais frios, se não utilizar os equipamentos de aquecimento de ar ambiente, a sua habitação ...
4. Na sua habitação, qual ou quais as divisões normalmente aquecidas com recurso aos equipamentos que indicou?
5. A totalidade das divisões que indicou na questão anterior correspondem aproximadamente a ...
6. Relativamente aos equipamentos de aquecimento de ar ambiente que utiliza com maior frequência, quando é que estes se encontram ligados?
7. Os períodos que indicou na questão anterior correspondem às seguintes horas do dia (pode indicar mais do que uma opção):

### Categoria 2 - Aquecimento de águas para uso doméstico

8. Que equipamento(s) de aquecimento de águas existe(m) na habitação onde mora? Deve indicar todos os equipamentos que existem na habitação, mesmo aqueles que utiliza com pouca frequência.
9. Do(s) equipamento(s) de aquecimento de águas indicados anteriormente, qual ou quais utiliza com maior frequência?
10. Qual o número total de banhos (duche ou banheira) que se verificam por semana na sua habitação:
11. Utiliza máquina de lavar a loiça?

### Categoria 3 – Arrefecimento de ar ambiente

12. Que equipamento(s) de arrefecimento do ar ambiente existe(m) na habitação onde mora? Deve indicar todos os equipamentos que existem na habitação, mesmo aqueles que utiliza com pouca frequência.
13. Do(s) equipamento(s) de arrefecimento do ar indicados anteriormente, qual ou quais utiliza com maior frequência?
14. Durante os meses mais quentes, se não utilizar os equipamentos de arrefecimento de ar ambiente, a sua habitação ...
15. Na sua habitação, qual ou quais as divisões normalmente arrefecidas com recurso aos equipamentos que indicou?
16. A totalidade das divisões que indicou na questão anterior correspondem aproximadamente a ...
17. Relativamente aos equipamentos de arrefecimento de ar ambiente que utiliza com maior frequência, quando é que estes se encontram ligados?
18. Os períodos que indicou na questão anterior correspondem às seguintes horas do dia (pode indicar mais do que uma opção):

#### Categoria 4 – Comportamento dos ocupantes

19. No período de inverno, abre as janelas das divisões principais (salas e quartos)?
20. No período de verão, abre as janelas das divisões principais (salas e quartos)?
21. Tem estores exteriores ou portadas exteriores nas janelas dos quartos?
22. Se respondeu afirmativamente à questão anterior, no período de inverno, costuma ter os estores/portadas fechados/as das janelas dos quartos durante o período da noite?
23. Tem cortinas nas janelas das principais divisões (salas e quartos)?
24. Qual a posição mais frequente das cortinas que indicou na questão anterior?
25. Para além das cortinas e dos estores, as janelas dispõem de outro tipo de sombreamento?
26. Relativamente aos dispositivos que indicou (ex: estores, portadas ou outros) independentemente da sua posição interior ou exterior, qual a posição mais frequente durante as horas de um dia de inverno?
27. Relativamente aos dispositivos que indicou (ex: estores, portadas ou outros) independentemente da sua posição interior ou exterior, qual a posição mais frequente durante as horas de um dia de verão?
28. Relativamente aos dias úteis qual ou quais os períodos do dia em que a habitação se encontra regularmente ocupada?
29. Relativamente aos fins-de-semana, como classificaria a frequência em que existe ocupação da habitação:
30. Concelho onde se localiza a sua habitação
31. Área de pavimento da sua habitação excluindo espaços não utilizados regularmente (ex: caves, garagens, sótãos, marquises):
32. Tipo de habitação
33. Regime de ocupação da sua casa

#### Categoria 5 – Consumos de energia na habitação

34. Indicar para os diferentes usos indicados, qual ou quais as formas de energia que utiliza com maior frequência:
35. Indicar qual a sua faturação de eletricidade anual (em kWh/ano):
36. Indicar qual a sua faturação de gás natural anual (em kWh/ano):
37. Indicar qual a sua faturação de gás de garrafa (em kg/ano):
38. Indicar qual a sua faturação de gasóleo (em m<sup>3</sup>/ano):
39. Indicar qual a sua faturação de lenha ou granulados (pellets) (em ton/ano):
40. Indicar qual a sua faturação de calor da rede urbana (em kWh/ano):
41. Indicar qual a sua faturação de 'frio' da rede urbana (em kWh/ano):

#### Categoria 6 – Caracterização da habitação e dos seus residentes

42. A sua habitação tem um Certificado Energético?
43. Qual a classe energética indicada no certificado?
44. Indique o valor que se encontra indicado no certificado energético para aquecimento (em kWh/ano)
45. Indique o valor que se encontra indicado no certificado energético para aquecimento de águas domésticas (em kWh/ano)
46. Indique o valor que se encontra indicado no certificado energético para arrefecimento (em kWh/ano)

- 47. A sua habitação está a ser monitorizada no âmbito do projeto Suscity?
- 48. Se respondeu afirmativamente à questão anterior indique o número de código que lhe foi entregue.  
No caso de pretender anonimato deixe este campo em branco.
- 49. Sexo
- 50. Idade
- 51. Contando consigo, no seu agregado familiar residem quantas pessoas com os seguintes intervalos de idade?
- 52. Indique por favor qual o nível de escolaridade mais elevado que completou
- 53. Indique a sua condição perante o trabalho

## Anexo B – Resultados do caso de estudo para as necessidades nominais anuais de energia útil

Tabela B.1 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação multifamiliar, método sazonal

Comportamentos	Multifamiliar (kWh/m <sup>2</sup> .ano)			
	REH (N <sub>ic</sub> )	N <sub>ic</sub>	REH (N <sub>vc</sub> )	N <sub>vc</sub>
Máximo		20.4		29.2
Médio	22.7	2.9	35.4	4.9
Mínimo		0.2		1.0

Tabela B.2 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação unifamiliar, método sazonal

Comportamentos	Unifamiliar (kWh/m <sup>2</sup> .ano)			
	REH (N <sub>ic</sub> )	N <sub>ic</sub>	REH (N <sub>vc</sub> )	N <sub>vc</sub>
Máximo		69.2		24.3
Médio	76.9	9.6	29.4	4.1
Mínimo		0.6		0.9

Tabela B.3 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação multifamiliar, método horário

Comportamentos	Multifamiliar (kWh/m <sup>2</sup> .ano)			
	100% área aquecida	redução área	100% área arrefecida	redução área
	Horário ( $\Phi_{H,nd}$ )	$\Phi_{H,nd}$	Horário ( $\Phi_{C,nd}$ )	$\Phi_{C,nd}$
Máximo	39.0	35.1	19.0	17.1
Médio	16.0	6.9	15.0	5.6
Mínimo	7.0	0.7	14.0	1.4

Tabela B.4 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento na habitação unifamiliar, método horário

Comportamentos	Unifamiliar (kWh/m <sup>2</sup> .ano)			
	100% área aquecida	redução área	100% área arrefecida	redução área
	Horário ( $\Phi_{H,nd}$ )	$\Phi_{H,nd}$	Horário ( $\Phi_{C,nd}$ )	$\Phi_{C,nd}$
Máximo	82.0	73.8	4.0	3.6
Médio	27.0	11.6	4.0	1.5
Mínimo	10.0	1.0	4.0	0.4



